

Dendroökologische Untersuchungen an Höhenprofilen aus verschiedenen Klimabereichen

**Eine radiodensitometrische Studie über den Einfluss der Witterung,
der Höhenlage und der Standortseigenschaften
auf das Jahrringwachstum von Nadelbäumen**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung der philosophischen Doktorwürde
vorgelegt der
Philosophischen Fakultät II
der Universität Zürich

von

FELIX KIENAST
von Zürich und Zollikon

Begutachtet von den Herren Prof. Dr. G. Furrer
PD Dr. F.H. Schweingruber



Juris Druck + Verlag Zürich

1985



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Dendroökologische Untersuchungen an Höhenprofilen aus verschiedenen Klimabereichen

**Eine radiodensitometrische Studie über den Einfluss der Witterung,
der Höhenlage und der Standortseigenschaften
auf das Jahrringwachstum von Nadelbäumen**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung der philosophischen Doktorwürde
vorgelegt der
Philosophischen Fakultät II
der Universität Zürich

von

FELIX KIENAST
von Zürich und Zollikon

Begutachtet von den Herren Prof. Dr. G. Furrer
PD Dr. F.H. Schweingruber



Juris Druck + Verlag Zürich
1985

Ökologische Untersuchungen an Höherpflanzen aus verschiedenen Klimazonen

Die vorliegende Arbeit ist eine Untersuchung über die
Ökologie der Höherpflanzen in den verschiedenen
Klimazonen der Erde.

Abstracts

Dendroökologische Untersuchungen an Höhenprofilen aus verschiedenen Klimabereichen

Die jahrringanalytische Forschung verfügt heute nur über wenige Untersuchungen, die sich mit der ökologischen Auswertung und Aussagekraft von Jahrringchronologien befassen. Für die klimatologische Interpretation fossiler Reihen mangelt es zudem an Studien über die Jahrringbildung rezenter Bäume in Abhängigkeit von der Witterung, der Höhenlage und den Standortverhältnissen.

Aus den erwähnten Gründen wurden in vier klimatisch unterschiedlichen Gebieten (Walliser Rhonetal und Jura, Schweiz; Troodosgebirge, Zypern; Front Range, Colorado, USA) Bohrkernen von verschiedenen einheimischen Nadelbaumarten entnommen. Die Auswahl der Waldbestände mit unterschiedlichsten Standortseigenschaften erfolgte entlang von Höhenprofilen zwischen der oberen Waldgrenze und tiefen Lagen (zum Teil untere Waldgrenze).

Mit Hilfe einer graphischen Darstellungsmethode konnten die komplexen Beziehungen zwischen den Jahrringmessgrößen (Maximale Spätholzdichte, Jahrringbreite, Spätholzbreite, minimale Dichte), der Witterung, den Standortseigenschaften und der Höhenlage einzeljahresweise erfasst werden. Jahre, die auf Grund der Jahrringmessgrößen ähnliche Verteilungsmuster aufwiesen, wurden zu Gruppen zusammengefasst und verschiedenen Witterungstypen zugeordnet. Anschliessend wurden herkömmliche dendroklimatologische Methoden kritisch betrachtet und ihr dendroökologischer Informationsgehalt überprüft. Auf Grund der Resultate erfolgten Standortsempfehlungen für die Auswahl von Probestellen in rezenten dendroklimatologischen Netzwerken. Die Empfehlungen erleichtern oder relativieren gleichzeitig die klimatologischen Aussagen bestehender fossiler Jahrringchronologien.

Dendroecological studies along vertical transects in different climatic areas

Tree ring research has so far included few studies on the ecological interpretation and informational content of tree ring chronologies. Further, the climatological interpretation of fossil chronologies is hindered by a lack of knowledge about the relationships between weather conditions, site elevation, site characteristics, and ring formation in living trees.

The present study therefore investigated these relationships in various indigenous conifers of four climatically differing areas (Swiss Rhone Valley; Swiss Jura; Troodos Mountain, Cyprus; Front Range, Colorado, USA). Core samples were taken from selected stands growing under a wide range of conditions and located along vertical transects between the upper and lower limits of local distribution.

A graphical method of data representation allowed the year-for-year determination of the complex relationships between ring parameters (maximum latewood density, ring width, latewood width, minimum density), weather conditions, site elevation, and site characteristics. Those years in which ring parameters exhibited a similar distribution in relation to site were grouped and assigned to various weather patterns. As a further step, the conventional dendroclimatological methods were critically examined and the content of dendroecological information scrutinised. On the basis of the results, recommendations are made for the selection of sites for modern dendroclimatological networks. These recommendations are intended to facilitate or relativise the climatological interpretation of existing fossil chronologies.

Etude dendroécologique de profils altitudinaux dans diverses zones climatiques

Peu nombreux sont les recherches concernant l'analyse des cernes qui servirent jusqu'à ce jour à une étude écologique. L'interprétation climatologique de chronologies de bois subfossile a souffert du manque de travaux sur l'élaboration des cernes en fonction de l'évolution du temps, de l'altitude et des conditions de milieu.

Par ces raisons, nous avons prélevé des éprouvettes de sondage d'essences résineuses indigènes dans quatre régions climatiques distinctes: vallée du Rhône et Jura en Suisse; massif du Troghodhos à Chypre; Front Range au Colorado, Etats-Unis. Les peuplements choisis, caractérisés par des propriétés écologiques très différentes, étaient situés le long d'un profil altitudinal allant de la limite supérieure des forêts aux bas des versants (soit en partie jusqu'à la limite inférieure des forêts).

A l'aide d'une méthode graphique de présentation, il nous a été possible de montrer, pour chaque année, les relations complexes existant entre les différents paramètres du cerne (densité maximale du bois d'été, largeur du cerne, largeur du bois d'été, densité minimale), l'évolution du temps, les conditions de milieu et l'altitude. Les années présentant une distribution semblable des paramètres du cerne furent groupées et attribuées à divers types de temps. Les méthodes dendroclimatologiques usuelles furent soumises à une analyse critique en ce qui concerne surtout leur valeur informative dendroécologique. Les résultats permirent d'établir des recommandations pour le choix des stations des réseaux dendroclimatologiques récents. Ces recommandations simplifient ou relativisent en même temps les informations climatologiques existantes, établies avec des bois subfossiles.

Inhaltsverzeichnis

Abstracts	3	4.3 Jahrringchronologien	46
Verzeichnis der Abbildungen	7	4.3.1 Dendroklimatologische Qualitätsansprache	46
Verzeichnis der Tabellen	8	4.3.2 Kurvenverlauf	47
Vorwort	9	4.3.3 Ueberregionaler dendrochronologischer Standortvergleich	52
1 Einleitung	11	5 Jahrringwachstum - Standort - Klima	54
1.1 Geschichtlicher Ueberblick	11	5.1 Die Darstellung des Jahrringwachstums im dendroökologischen Diagramm	54
1.2 Problemstellung und Ziele	11	5.1.1 Allgemeines	54
1.3 Das Prinzip der Höhenprofile	13	5.1.2 Die Typisierung der dendroökologischen Diagramme	55
2 Methoden	15	5.2 Dendroökologische Einzeljahres- und Gruppenanalysen	57
2.1 Radiodensitometrische Datenerfassung	15	5.2.1 Detaillierte Resultate	57
2.2 Statistische Verfahren	15	5.2.2 Zusammenfassende Betrachtung	76
2.2.1 Basis- und Chronologiestatistik	15	5.3 Dendroökologische Diagrammzeitreihen	77
2.2.2 Multivariate statistische Methoden	16	5.3.1 Die Reaktionen verschiedener Jahrringparameter im gleichen Jahr	77
2.3 Die 'skeleton plot'-Methode	16	5.3.2 Temperatur- oder Niederschlags-sensitivität in Abhängigkeit vom Jahrringparameter	77
3 Material	17	5.4 Das Jahrringwachstum und der Faktor Zeit in der Pflanzensoziologie	82
3.1 Herkunft des Probenmaterials	17	5.5 Dendroökologische Aussagemöglichkeiten der 'skeleton plot'-Methode	83
3.1.1 Der Untersuchungsraum des Wal-liser Rhonetals, Schweiz	17	5.6 'Response functions'	85
3.1.2 Der Untersuchungsraum des Juras, Schweiz	22	5.6.1 Eingangsgrößen und Generalisierungsverfahren	85
3.1.3 Der Untersuchungsraum der Front Range, Colorado, USA	25	5.6.2 'Response functions' der längstmöglichen Untersuchungsperioden	86
3.1.4 Der Untersuchungsraum des Troodosgebirges, Zypern	29	5.6.3 'Response functions' mit Evapotranspirationsdaten	91
3.2 Die untersuchten Baumarten	34	5.6.4 'Response functions' mit Einzeljahresgruppen	93
3.2.1 Die Gattung Pinus L.	34	5.7 Methodenvergleich: Einzeljahres- und Gruppenanalysen im Vergleich mit den 'response functions'	97
3.2.2 Die Gattung Picea A. Dietr.	35	5.7.1 Vergleich der Hauptbeeinflussungsmonate der Witterung	97
3.2.3 Die Gattung Abies Mill.	36	5.7.2 Vor- und Nachteile der beiden Methoden	98
3.2.4 Die Gattung Cedrus Trew	36	5.8 Standortsempfehlungen für rezente und fossile Jahrringchronologien	99
3.2.5 Die Gattung Pseudotsuga Carr.	37		
3.3 Radiodensitometrische Eigenschaften der untersuchten Baumarten	37		
4 Basisdaten	39		
4.1 Klimamessreihen	39		
4.2 Evapotranspirationsberechnungen	39		
4.2.1 Die Berechnung der potentiellen Evapotranspiration	39		
4.2.2 Die Berechnung der aktuellen Evapotranspiration	43		
4.2.3 Witterungs- und Evapotranspirationsverlauf der Klimastation Sitten	45		

6 Jahrringwachstum und Waldschäden	102
6.1 Zuwachsrückgang, Alterstrend und Witterungseinflüsse	102
6.2 Zuwachsrückgang und Standortbedingungen	103
6.3 Schadenursachen	103
7 Ausblick	104
Zusammenfassung	105
Summary	107
Résumé	109
Literatur	111
Anhang	117

Verzeichnis der Abbildungen

1 Das Prinzip der Höhenprofile und der Standortsauswahl	14	28 Geographische Verbreitung der Gattung Cedrus Trew zwischen Atlas und Himalaya	36
2 Mikrophotographie und zugehöriges Dichtediagramm einer Jahrringabfolge aus Lärchenholz (<i>Larix decidua</i> Mill.)	15	29 Geographische Verbreitung von <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco	37
3 Geographische Lage der Untersuchungs-räume	17	30 Ausgewählte Densitogramme der unter-suchten Baumarten geordnet nach Gat-tungen	38
4 Die Untersuchungsräume des Walliser Rhonetals und des Juras mit Angaben über die Lage der Detailkarten	17	31 Tägliche Werte der potentiellen Evapo-transpiration der Klimastation Sitten im Jahr 1904	42
5 Klimadiagramme aus dem Walliser Rhone-tal mit den zugehörigen Klimaklassifi-kationen	18	32 Jahressummen der potentiellen Evapo-transpiration nach verschiedenen empi-rischen Formeln in klimatisch unter-schiedlichen Jahren	43
6 Höhengschichtenkarte des Untersu-chungsraumes Walliser Rhonetal	18	33 Abhängigkeit der aktuellen Transpira-tion von der potentiellen Transpira-tion und vom Bodenwassergehalt	44
7 Dendroökologisches Diagramm der Probe-flächen aus dem Walliser Rhonetal	19	34 Witterungsverlauf der Klimastation Sitten während der Jahre 1919 bis 1923	45
8 Klimadiagramme aus dem Jura und dem schweizerischen Mittelland mit den zugehörigen Klimaklassifikationen	22	35 Mittelkurven der maximalen Dichte der untersuchten Waldbestände sowie zuge-hörige dendroökologische Quali-tätsansprache	49
9 Höhengschichtenkarte des Untersuchungs-raumes Jura	23	36 Mittelkurven der Jahrringbreite der untersuchten Waldbestände sowie zuge-hörige dendroökologische Quali-tätsansprache	51
10 Dendroökologisches Diagramm der Probe-flächen aus dem Jura	23	37 Regionenübergreifender, dendrochrono-logischer Standortsvergleich mit Hilfe einfacher statistischer Angaben	53
11 Der Untersuchungsraum der Front Range, Colorado, USA, mit Angaben über die Lage der Detailkarte	25	38 Computerausdruck eines dendroökologi-schen Diagramms aus dem Walliser Rho-netal	54
12 Klimadiagramme aus der Front Range und den angrenzenden Prärien mit den zuge-hörigen Klimaklassifikationen	25	39 Idealisiert dargestellte Haupttypen von dendroökologischen Diagrammen	55
13 Höhengschichtenkarte des Untersuchungs-raumes Front Range	26	40 Idealisiert dargestellte Untertypen von dendroökologischen Diagrammen	56
14 Dendroökologisches Diagramm der Probe-flächen aus der Front Range	27	41 Walliser Rhonetal, Schweiz: Dendroöko-logische Diagramme der maximalen Diche	60
15 Der Untersuchungsraum Zypern mit Anga-ben über die Lage der Detailkarte	29	42 Jura, Schweiz: Dendroökologische Dia-gramme der maximalen Dichte	62
16 Verteilung der mittleren Jahresnieder-schlagsmengen (mm) zwischen 1941 und 1970 auf Zypern	29	43 Front Range, USA: Dendroökologische Diagramme der maximalen Dichte	64
17 Klimadiagramme von Zypern mit den zugehörigen Klimaklassifikationen	29	44 Troodosgebirge, Zypern: Dendroökologi-sche Diagramme der maximalen Dichte	66
18 Höhengschichtenkarte des Untersuchungs-raumes Troodosgebirge	30	45 Front Range, USA: Dendroökologische Diagramme der Jahrringbreite	68
19 Dendroökologisches Diagramm der Probe-flächen aus dem Troodosgebirge	31	46 Troodosgebirge, Zypern: Dendroökologi-sche Diagramme der Jahrringbreite	70
20 Geographische Verbreitung von <i>Pinus sylvestris</i> L.	34	47 Front Range, USA: Dendroökologische Diagramme der Spätholzbreite	72
21 Geographische Verbreitung der vier Kleinarten von <i>Pinus nigra</i> Arnold	34	48 Walliser Rhonetal, Schweiz: Dendroöko-logische Diagramme der minimalen Dichte	74
22 Geographische Verbreitung von <i>Pinus brutia</i> Ten.	34	49 Dendroökologische Diagrammzeitreihen verschiedener Jahrringparameter aus dem Walliser Rhonetal sowie zugehöri-ger Witterungsverlauf der Klimastation Sitten	79
23 Geographische Verbreitung von <i>Pinus ponderosa</i> Dougl.	35		
24 Geographische Verbreitung von <i>Picea abies</i> (L.) Karst. bzw. <i>Picea obovata</i> Ledeb.	35		
25 Geographische Verbreitung von <i>Picea pungens</i> Engelm.	35		
26 Geographische Verbreitung von <i>Picea engelmannii</i> Parry	36		
27 Geographische Verbreitung von <i>Abies alba</i> Mill.	36		

Verzeichnis der Tabellen

50 Dendroökologische Diagrammzeitreihen verschiedener Jahrringparameter aus dem Jura sowie zugehöriger Witterungsverlauf der Klimastation Bern	80	1 Teilziele der Untersuchungen	13
51 Dendroökologische Diagrammzeitreihen verschiedener Jahrringparameter aus der Front Range sowie zugehöriger Witterungsverlauf der Klimastation Denver	81	2 Wichtige Eigenschaften der Probeflächen aus dem Walliser Rhonetal, Schweiz	20
52 Durchschnittliche Einflussbereiche des temperatur- respektive niederschlags-sensitiven Jahrringwachstums im Walliser Rhonetal	82	3 Wichtige Eigenschaften der Probeflächen aus dem Jura, Schweiz	24
53 Einzeljahresweiser Vergleich der 'skeleton plot'-Methode mit den Aussagen der Indexwerte und des Intervalltrends	84	4 Wichtige Eigenschaften der Probeflächen aus der Front Range, Colorado, USA	28
54 Angewandetes Generalisierungsverfahren für 'response functions'	85	5 Wichtige Eigenschaften der Probeflächen aus dem Troodosgebirge, Zypern	32
55 Generalisierte 'response functions' der längstmöglichen Untersuchungsperioden des Jahrringparameters maximale Dichte	87	6 Verzeichnis der verwendeten Klimastationen und Klimaelemente	40
56 Generalisierte 'response functions' der längstmöglichen Untersuchungsperioden des Jahrringparameters Jahrringbreite	89	7 Verwendete Formeln der potentiellen Evapotranspiration mit den erforderlichen meteorologischen Eingangsgrößen	41
57 Generalisierte 'response functions' der längstmöglichen Untersuchungsperioden des Jahrringparameters minimale Dichte	90	8 Signaturenerklärung zur quartalsweisen Witterungscharakterisierung	58
58 Generalisierte 'response functions' der längstmöglichen Untersuchungsperioden des Jahrringparameters maximale Dichte und der unabhängigen Variablen der Evapotranspiration	91	9 Graustufenwahl und Klasseneinteilung bei den dendroökologischen Diagrammdarstellungen	59
59 Vergleich der Evapotranspirationsmodelle und der Temperatur-Niederschlagsmodelle auf Grund des erklärbaren Varianzanteils	92	10 Die Reaktionen verschiedener Jahrringparameter im gleichen Jahr	78
60 'Response functions' der Standortschronologie Niwot Ridge (NIWO) für die Periode 1910 - 1982 und für Einzeljahresgruppen	94	11 Vor- und Nachteile der 'response functions' und der Einzeljahres- und Gruppenanalyse	98
61 'Response functions' der Standortschronologie Prés des Champs (PRE) für die Periode 1901 - 1977 und für Einzeljahresgruppen	95	12 Basis- und Chronologiestatistik der Jahrringsequenzen aus dem Walliser Rhonetal, Schweiz	118
62 Vergleich der Resultate der 'response functions' und der Gruppenanalysen in Bezug auf die positiv korrelierten Hauptbeeinflussungsmonate der Witterung auf das Jahrringwachstum	97	13 Basis- und Chronologiestatistik der Jahrringsequenzen aus dem Jura, Schweiz	120
63 Eignung der untersuchten Standorte und ausgewählter Jahrringparameter für dendroklimatologische Analysen und Rekonstruktionen sowie Standortsempfehlungen	100	14 Basis- und Chronologiestatistik der Jahrringsequenzen aus der Front Range, Colorado, USA	121
64 Erläuterungen zu den Symbolen der verwendeten Klimadiagramme	128	15 Basis- und Chronologiestatistik der Jahrringsequenzen aus dem Troodosgebirge, Zypern	122
		16 Jahre, die den drei Hauptbeeinflussungsmustern A, B, und C zugeordnet werden	124
		17 Erklärbare Varianzanteile (%) verschiedener Jahrringmodelle aus dem Walliser Rhonetal	125
		18 Bewertungsschlüssel für die Abbildungen 35, 36 und 37	126
		19 Bewertungsschlüssel für die Tabelle 8	126
		20 Bewertungsschlüssel für die Abbildung 53	127

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand in den Jahren 1982 bis 1985 unter der Leitung der Herren Prof. Dr. G. Furrer, Geographisches Institut der Universität Zürich und PD Dr. F.H. Schweingruber, Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf.

Herrn PD Dr. F.H. Schweingruber danke ich herzlich für sein grosses Interesse an der Arbeit sowie für seine fachliche Unterstützung. Die vielen Diskussionen während der Feldaufenthalte und der Datenauswertung haben wesentlich zum Gelingen der Arbeit beigetragen. Auf sein Gesuch hin wurde die Arbeit durch den Schweizerischen Nationalfonds finanziell unterstützt. Herrn Prof. Dr. G. Furrer gebührt Dank für sein Interesse an der Arbeit und die Bereitschaft die Dissertation zu begutachten.

Ferner danke ich folgenden Personen:

- Dr. O.U. Bräker, EAFV, für die EDV Beratung.
- Prof. Dr. H. Flühler, Professur für Bodenphysik, Institut für Waldbau, ETH Zürich, für sein Interesse an der Arbeit und die Beratung in Waldschadenfragen.
- E. Schär, EAFV, für die Betreuung an den technischen Geräten.
- W. Schoch, EAFV, für die Reinzeichnung der Standortsskizzen.
- Dr. F.K. Anderson, Salt Lake City, Utah, USA
- Dr. W. Bircher, Benglen
- Dr. B. Buchter, Zürich
- J.P. Cropper, Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson, USA
- Prof. Dr. H.C. Fritts, Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson, USA
- Frau R. Jenny, EAFV
- Dr. Dr. h.c. T. Keller, EAFV
- Frau Dr. A. Lamprecht, Stäfa
- Dr. O. Lenz, EAFV
- Frau Prof. Dr. V. Markgraf, University of Colorado, Boulder, USA
- Dr. M. Noble, University of Colorado, Mountain Research Station, Nederland, USA
- P. Nogler, EAFV
- Dr. D. Norton, University of East Anglia, England
- B. Oester, EAFV
- Frau D. Pichler, EAFV
- Dr. F. Renner, Kastanienbaum
- Prof. Dr. B. Robinson, Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson, USA
- M. Sebek, EAFV
- Frau M. Sieber, Uitikon

Mein Dank geht ferner an alle Kolleginnen und Kollegen der Eidgenössischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen und des Geographischen Institutes der Universität Zürich, die mit mir fachliche Probleme diskutierten und mir viele Anregungen gaben. Ferner möchte ich all jenen Personen danken, die mir während der Feldaufenthalte Unterkunft und Unterstützung anboten.

Den grössten Dank schulde ich meiner lieben Frau, die mich in vielen Belangen unterstützte und mir bei der Textgestaltung wesentlich mithalf. Meine Eltern ermöglichten mir das Studium der Geographie. Ihnen sei hiermit herzlich gedankt.

Erlenbach, Ende Februar 1985.

1 Einleitung

1.1 Geschichtlicher Ueberblick

Bereits im 15. Jahrhundert erkannte der Gelehrte LEONARDO DA VINCI (1452 - 1519), dass das Jahrringwachstum von Bäumen eng mit der Witterung zusammenhängt (GLOCK, 1941). Dieses Erkenntnis geriet aber nach seinem Tode wieder in Vergessenheit, bis sich der amerikanische Astronom A.E. DOUGLASS (1867 - 1962) im trockenen Südwesten von Nordamerika intensiv mit der Jahrringanalyse beschäftigte. Er gilt heute als eigentlicher Wegbereiter der Jahrringforschung. In Europa liess der Durchbruch der neuen Wissenschaft lange auf sich warten. Erst in den dreissiger Jahren vermochte sich die wissenschaftliche Jahrringanalyse unter B. HUBER (1899 - 1969) durchzusetzen.

Die intensive Anwendung statistischer Methoden und der EDV durch den Amerikaner H.C. FRITTS (1960) führten in den sechziger Jahren auf der ganzen Welt zu einem Aufschwung der Jahrringanalyse und der Dendroklimatologie. Ungefähr zur gleichen Zeit beschritt der Franzose H. POLGE (1966) neue holzanalytische Wege. Auf Grund der Erkenntnisse von O. LENZ (1957) entwickelte er die Holzdichtebestimmung mittels Röntgenanalysen. Es zeigte sich schnell, dass die Spätholzdichte in den kühl-gemässigten Gebieten einen höheren klimatischen Informationsgehalt aufweist als die Jahrringbreite. Heute wird deshalb in verschiedenen Laboratorien der Welt mit radio-densitometrischen Methoden gearbeitet. An der Eidgenössischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen besteht seit 1971 eine radio-densitometrische Anlage, die nach dem Prinzip von H. POLGE gebaut, aber technisch weiterentwickelt und verfeinert wurde. Methodisch-technische Uebersichten der Anlage geben LENZ et al. (1976) und SCHWEINGRUBER (1983). In statistischer Hinsicht werden in diesem Labor vor allem die Methoden von H.C. FRITTS verwendet. Heute liegt ein Netzwerk von rund 170 Dichten- und Breitenchronologien verschiedener Nadelholzarten vor, die hauptsächlich von Waldgrenzstandorten stammen.

In jüngster Zeit zeichnet sich in der Jahrringanalyse erneut ein Aufschwung ab. Zu den traditionellen Fachrichtungen der Jahrringforschung (Datierungen und klimatologische Untersuchungen) haben sich neue Problemstellungen gesellt. Sie gehören wie die vorliegende Arbeit in den Forschungsbereich der Dendroökologie. Der Jahrring soll nicht nur als klimatologische Informationsquelle benutzt werden, sondern ebenso als Datenträger für standortkundliche und ökologische Fragestellungen. Ferner führt die zunehmende Belastung der Umwelt durch Schadstoffe aller Art zu einer immer grösseren Bedeutung der Immissions- und Umweltverschmutzungsforschung

in der Dendroökologie. In diesem Bereich kann die Jahrringanalyse wichtige Beiträge zur Erfassung des Gesundheitszustandes von Wäldern und zur Datierung von Schadenereignissen liefern.

1.2 Problemstellung und Ziele

Problemstellung. In der dendroklimatologischen Forschung wird unter anderem versucht, das Jahrringwachstum rezentler Bäume mit dem gemessenen Witterungsablauf in Beziehung zu bringen. Heute gelingt dies mit langjährigen Chronologien, die von ökologisch extremen Standorten stammen, wo entweder die Temperaturen oder die Niederschläge das kambiale Wachstum begrenzen (LAMARCHE, 1978). Eine grosse Anzahl untersuchter Chronologien liegt aber in der Uebergangszone zwischen den erwähnten Extremstandorten. Hier wird das Jahrringwachstum nicht mehr einseitig von den Temperaturen oder von den Niederschlägen limitiert. Es handelt sich vielmehr um ein kompliziertes Beziehungsgeflecht verschiedener Witterungseinflüsse, die das kambiale Wachstum je nach Standort steuern (MUELLER-STOLL, 1951; CIESLAR, 1907). Auch wenn die Standortsverhältnisse¹ bei rezenten Chronologien erfasst werden können, sind Rückschlüsse auf das eine oder andere Klimaelement oft schwierig. Entsprechend problematisch gestaltet sich die Interpretation fossiler Reihen aus standörtlichen Uebergangszonen, weil die Eigenschaften des Wuchsstandortes oft nicht bekannt sind. Trotz diesen Vorbehalten werden heute viele rezente und fossile Chronologien aus standörtlichen Uebergangszonen klimatologisch interpretiert, obwohl genaue dendroökologische Studien über die Jahrringbildung in Abhängigkeit von der Höhenlage und den Standortsverhältnissen noch weitgehend ausstehen.

¹ Bedeutung der Begriffe 'Standortsverhältnisse', 'Standortseigenschaften' und 'Standortsbedingungen' in der vorliegenden Arbeit: Die Begriffe beziehen sich im wesentlichen auf die Standortsfeuchtigkeit, Bodengründigkeit und Exposition eines Bestandes. Der Begriff schliesst die Höhenlage sowie die Klima- und Witterungsbedingungen eines Standortes nicht ein. Diese Eigenschaften werden getrennt betrachtet.

Erste Ansätze zu dendroökologischen Untersuchungen sind bei CIESLAR (1907) zu finden. Ausgehend vom trockenen Sommer des Jahres 1904 untersuchte er das Dickenwachstum verschiedener Baumarten aus den österreichischen Alpen. Er schreibt dazu:

" Bei der Sammlung der Daten ging ich sehr einfach vor: ich warb von verschiedenen Holzarten, in trockenen, normalen und feuchten Lagen, in geringeren und bedeutenderen Meereshöhen, in verschiedenen Wachstumsgebieten in der Bruthöhe der Baumschäfte Bohrspäne. An diesen mass ich mit der 23 mal vergrößernden Zeiss'schen Stativlupe die Breite der Jahrringe aus der Periode 1902 bis 1905, beziehungsweise 1906, und schloss aus diesen nur primitiv gewonnenen Zahlen auf den Zuwachsgang. Ich bin mir des elementaren Wesens des Forschungsweges wohl bewusst, doch halte ich ihn für die gesteckten Ziele als hinreichend " (CIESLAR, 1907, S. 289).

Die von CIESLAR (1907) beschriebenen dendroökologischen Ansätze wurden in neuerer Zeit von verschiedenen Forschern wieder aufgegriffen, blieben aber innerhalb der Jahrringanalyse eher am Rande des Interessenbereichs. Einige Arbeiten werden nachstehend zitiert. FRITTS et al. (1965) untersuchten die Jahrringbreitenbildung entlang eines Höhenprofils in den San Francisco Mountains, USA, ohne jedoch Einzeljahresereignissen Bedeutung zuzumessen. In einer späteren Arbeit (FRITTS, 1969) analysierte er standörtliche Unterschiede mit Hilfe detaillierter statistischer Methoden. LAMARCHE (1974 a,b) ging das Problem mit Hilfe eines Höhenprofils aus Nevada, USA, an. In Europa wurden dendroökologische Probleme zum Beispiel von MUELLER-STOLL (1951) und JAZEWITSCH (1961) bearbeitet. KAERENLAMPI (1972) zeigte, dass an Trockenstandorten sogar an der temperaturbedingten Waldgrenze die Niederschläge limitierend wirken können. NORTON (1983) erforschte die Jahrringbildung entlang eines Höhenprofils in Neuseeland, ohne jedoch den Standortverhältnissen grössere Beachtung zu schenken.

Ziele. Auf Grund der aufgezeigten Wissenslücken verfolgt die vorliegende Arbeit das Hauptziel, die Jahrringbildung in Abhängigkeit von der Höhenlage, den Standortverhältnissen und der Witterung einzeljahresweise zu erforschen. An einzelnen Standorten soll ferner das Jahrringbild geschädigter Bäume erfasst und auf mögliche Immissionseinwirkungen untersucht werden. Von diesem Hauptziel wurden die in der Tabelle 1 dargestellten Teilziele abgeleitet. Voraussetzung für sämtliche Analysen ist die fehlerfreie Synchronisation aller Jahrringchronologien aus den verschiedenen Untersuchungsräumen.

Das Hauptziel der vorliegenden Studie besteht in der einzeljahresweisen Untersuchung der Jahrringbildung heutiger Bäume in Abhängigkeit von der Witterung, der Höhenlage und verschiedenen Standortseigenschaften. Damit sollen die Kenntnisse über die klimatologische und ökologische Aussagekraft des Jahrringes verbessert und herkömmliche jahrringanalytische Methoden überprüft werden. Ein wichtiges Anliegen besteht darin, die komplexen und zum Teil diffusen Beziehungen zwischen der Witterung und dem Jahrringwachstum im standörtlichen Uebergangsbereich zu erfassen. Auf Grund der Untersuchungen sollen Standorte empfohlen werden, an denen sichere dendroklimatologische Aussagen möglich sind. Die Empfehlungen bilden die Entscheidungsgrundlage für die Standortsauswahl in rezenten Jahrringnetzwerken und sollen die klimatologischen Aussagen fossiler Reihen relativieren.

In der jahrringanalytischen Forschung liegt heute nur ein relativ schmales Wissenspotential über die ökologische Aussagekraft von Jahrringsequenzen vor. Für die klimatologische Interpretation fossiler Reihen mangelt es an Untersuchungen über die Jahrringbildung heutiger Bäume in Abhängigkeit von der Witterung, der Höhenlage und den Standortverhältnissen. Ferner werden kaum Einzeljahresanalysen durchgeführt.

Methodischer Bereich:	
(1) Entwicklung neuer Verfahren zur einzeljahresweisen Analyse der radiodensitometrischen Jahrringsequenzen.	(6) Prüfung von Möglichkeiten zur Verknüpfung der Jahrringanalyse mit pflanzensoziologischen Standortskarakterisierungen.
(2) Ueberprüfung der untenstehenden, einfachen dendrochronologischen Verfahren auf ihren dendroökologischen Informationsgehalt: - Basis- und Chronologiestatistik - 'Skeleton plot'-Methode	(7) Evapotranspirationsberechnungen: - Verbesserung der klimatologischen und ökologischen Interpretierbarkeit von Jahrringchronologien.
(3) Kritische Betrachtung der multivariaten statistischen Methode der 'response functions'. Ergänzung der traditionellen Methode durch Verknüpfung mit Einzeljahres- und Gruppenanalysen.	(8) Schaffung dendroklimatologischer Entscheidungsgrundlagen: - Ueberprüfung verschiedener Standortstypen und Jahrringparameter auf ihren dendroklimatologischen Informationsgehalt. - Standortsempfehlungen für rezente und fossile Chronologien und Netzwerke.
Anwendungsorientierter Bereich:	
(4) Erfassung der jährlichen Variabilität des Jahrringwachstums in Abhängigkeit von den Standortseigenschaften, der Höhenlage und der Witterung. Typisierung der Jahre.	(9) Dendroklimatologischer und dendroökologischer Vergleich der ausgewählten Untersuchungsräume.
(5) Jahresweise Abgrenzung der standörtlichen Einflussbereiche des überwiegend temperatur- bzw. niederschlagssensitiven Jahrringwachstums.	Waldschadenforschung: (10) Schaffen von Interpretationshilfen für die Waldschadenuntersuchungen im Walliser Rhonetal (FLUEHLER, 1981): Trennung der Witterungseinflüsse und der Auswirkungen der Standortseigenschaften von möglichen Immissionseinflüssen.

Tabelle 1: Teilziele der Untersuchungen.

1.3 Das Prinzip der Höhenprofile

Die Auswahl der Probeflächen erfolgte entlang von Höhenprofilen. Die prinzipielle Anordnung der Standorte ist in der Abbildung 1 schematisch dargestellt. Die Wahl der Untersuchungsräume richtete sich nach folgenden Hauptkriterien:

- Gebiete mit möglichst unterschiedlichen makroklimatischen Bedingungen.
- Gebiete mit grosser vertikaler Ausdehnung der Vegetationszonen, insbesondere des Nadelwaldgürtels.
- Gebiete, die nach Möglichkeit eine niederschlagsbedingte sowie eine temperaturbedingte Waldgrenze aufweisen.

Die Auswahl der Probeflächen erfolgte entlang von Höhenprofilen zwischen der oberen Waldgrenze und tiefen Lagen (zum Teil untere Waldgrenze). In den verschiedenen Vegetationsstufen wurden Waldbestände mit unterschiedlichsten Standortseigenschaften jahrringanalytisch untersucht.

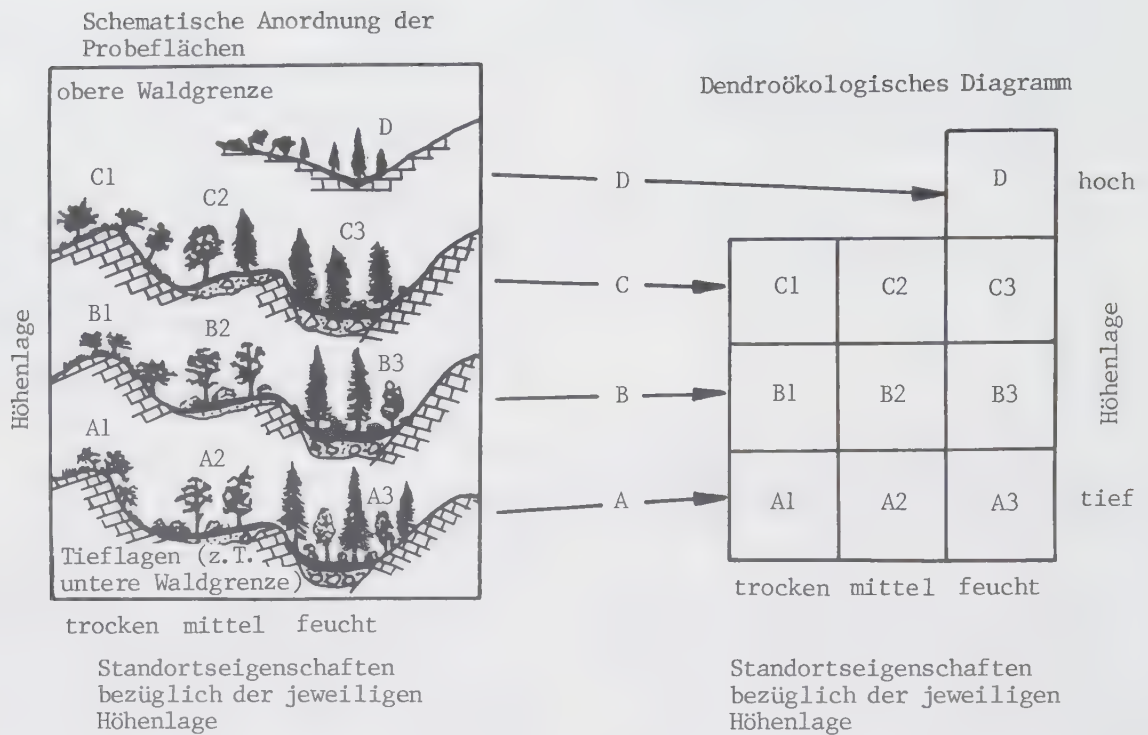


Abbildung 1: Das Prinzip der Höhenprofile und der Standortsauswahl. Das dendroökologische Diagramm wird für die Datenauswertung sehr häufig gebraucht. Jedes Feld steht stellvertretend für einen Probestandort. Die Lage des Feldes ergibt sich aus den Standortseigenschaften und der Höhenlage des entsprechenden Bestandes. Die standortkundliche Klassifikation der Bestände erfolgte auf Grund von pflanzensoziologischen, pedologischen und topographischen Kriterien. Die beiden Standorte D und A1 haben in allen Untersuchungsräumen die ökologisch unterschiedlichsten Standortseigenschaften. Sie werden deshalb mit dem Begriff 'Extremstandort' bezeichnet.

2 Methoden

2.1 Radiodensitometrische Datenerfassung

Sämtliche Jahrringchronologien wurden mit Hilfe radiodensitometrischer Methoden erstellt. Letztere stützen sich auf Verfahren, die an der Eidgenössischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen (EAFV) routinemässige Anwendung finden. Ausführliche Beschreibungen der Methoden geben LENZ et al. (1976) und SCHWEINGRUBER (1983). Die Probeentnahme erfolgte mit Hilfe eines Zuwachsbohrers. Pro Standort wurden mindestens 12 Bäume (meistens zwei Radian) untersucht. Nach der Extraktion der Harze und der Inhaltsstoffe wurde aus jedem Bohrkern ein 1,25 mm mächtiger Holzspan herausgesägt, geröntgt und densitometrisch analysiert. Das Verfahren liefert für jeden Bohrkern ein kontinuierliches Holzdickeprofil, wie es in der Abbildung 2 dargestellt ist. Aus der Dichtekurve wurden pro Jahrring fünf Parameter digital erfasst. Anschliessend erfolgte die Datenkontrolle und die Herstellung der Einzelkurven, die anschliessend auf dem Leuchtpult synchronisiert wurden. Die weitere Datenverarbeitung erfolgte auf einer CDC-Grosscomputeranlage.

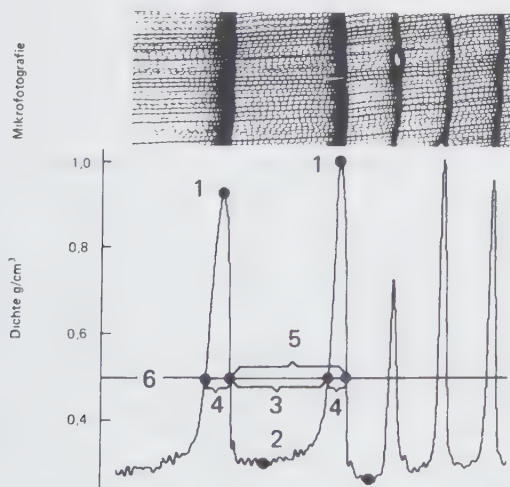


Abbildung 2: Mikrophotographie und zugehöriges Dichtediagramm einer Jahrringabfolge aus Lärchenholz (*Larix decidua* Mill.).

- (1) Maximale Spätholzdicke
- (2) Minimale Frühholzdicke
- (3) Frühholzbreite
- (4) Spätholzbreite
- (5) Jahrringbreite
- (6) Schwellenwert zwischen Frühholzbreite und Spätholzbreite (je nach Baumart gutachtlich festgelegt)

(nach SCHWEINGRUBER et al., 1979)

2.2 Statistische Verfahren

2.2.1 Basis- und Chronologiestatistik

Sollen Jahrringsequenzen dendroklimatologische oder dendroökologische Interpretationen ermöglichen, müssen sie mit verschiedenen statistischen Verfahren bearbeitet werden. Eine detaillierte Beschreibung gängiger Methoden gibt SCHWEINGRUBER (1983). Folgende Berechnungen wurden an sämtlichen Chronologien routinemässig durchgeführt:

Standardisierung, Indexierung. Jeder Baum unterliegt während seines Wachstums verschiedensten endogenen und exogenen Einflüssen, wie zum Beispiel der Alterung, gewissen Witterungseinflüssen, klimatischen Schwankungen sowie Bestandesauflichtungen. Diese Einflüsse wirken sich im Jahrringbild als kurz-, mittel- oder langfristige Schwankungen aus. Durch die Indexierung befreit man die Jahrringchronologien vom unerwünschten, endogen bedingten Alterstrend, der bewirkt, dass die Wachstumsleistung eines Baumes nach einer anfänglichen Jugendphase mit zunehmendem Alter absinkt. Dieser allgemeine Wachstumstrend wird mit Hilfe von mathematischen Zuwachsfunktionen ausgeglichen, die individuell in die Originalkurve gelegt werden. Die jährliche Berechnung der Abweichung zwischen Originalwert und Ausgleichswert führt zu den alterstrendfreien Indexkurven. Die Untersuchungen der vorliegenden Arbeit stützen sich mit Ausnahme der 'skeleton plot'-Analysen auf Chronologien, die mit der HUGERSHOFF-Funktion indexiert wurden (BRAEKER, 1981).

Berechnung des arithmetischen Mittels, der Streuung und der Standardabweichung. Diese Verfahren werden von SACHS (1978) ausführlich beschrieben.

Berechnung der Sensitivität. Die Sensitivität ist ein Aenderungsmass für eine Chronologie. Sie gibt an, wie gross die Veränderungen zwischen je zwei sich folgenden Werten einer Zeitreihe sind. Kurven mit durchschnittlich grosser Sensitivität werden als 'sensitiv' (unruhig), Kurven mit kleinen Sensitivitätswerten als 'complacent' (ausgeglichen) bezeichnet. Die Sensitivität kann an einem ökologisch einheitlichen Standort ein Mass für die Aenderungen der jährlichen Umwelteinflüsse sein. Sie ist abhängig von der Baumart, der Witterung, dem Klima, den Standortverhältnissen und dem jeweiligen Jahrringparameter.

Berechnung der Gleichläufigkeit. Die Gleichläufigkeit ist ein Ähnlichkeitsmass zwischen zwei Zeitreihen. Beurteilt wird dabei, ob die Intervalle zwischen zwei Werten steigende

oder fallende Tendenz aufweisen. Die in beiden Jahrringsequenzen übereinstimmenden Tendenzen gleich datierter Intervalle werden in Prozent aller gemeinsamen Intervalle ausgedrückt. Sie geben an, wie ähnlich die wachstumsbeeinflussenden Faktoren beider Chronologien sind.

Berechnung des Intervalltrends. Der Intervalltrend wird für mindestens zwei Zeitreihen berechnet. Er drückt aus, wieviele der gleich datierten Intervalle übereinstimmende Tendenz haben. Die Werte werden jahresweise berechnet und haben folgende Bedeutung:

- '0' : Alle Intervalle fallen.
- '50' : 50% aller Intervalle fallen und 50% steigen an oder
alle Intervalle sind horizontal.
- '100' : Alle Intervalle steigen.

Hohe oder tiefe Werte für den Intervalltrend zeigen, dass ein sehr prägender Umwelteinfluss vorliegt, der praktisch sämtliche Bäume des Standortes beeinflusst. Es sind die sogenannten Weiserjahre.

Korrelationsanalysen, Filter- und Glättungsverfahren. Diese Methoden werden zum Beispiel in FRITTS (1976) und SCHWEINGRUBER (1983) ausführlich beschrieben.

2.2.2 Multivariate statistische Methoden

Die in der vorliegenden Arbeit angewendeten multivariaten statistischen Methoden werden nachstehend kurz beschrieben. Bei beiden Verfahren wird versucht, die Einflüsse der Witterung auf das Jahrringwachstum statistisch zu erfassen.

Schrittweise multiple lineare Regression (EFROYMSON, 1960). Mit Hilfe des Verfahrens werden die Beziehungen zwischen den unabhängigen Variablen der Witterung und der abhängigen Variablen des Jahrringwachstums berechnet. Es bleibt dabei unberücksichtigt, dass die unabhängigen Klimaelemente (meistens Monatswerte der Niederschläge und der Temperaturen) untereinander häufig hoch korreliert sind. Dieser Umstand kann zu Fehlinterpretationen

führen. Aus diesem Grund ging FRITTS et al. (1971) zur nachstehend beschriebenen Methode über.

'Response functions' (FRITTS et al., 1971; FRITTS, 1976). Vor der schrittweisen multiplen linearen Regression wird eine Hauptkomponentenanalyse durchgeführt. In die Regressionsanalyse gehen nicht mehr die ursprünglichen, unabhängigen Variablen ein, sondern deren Eigenvektoren.

Die statistischen und biologischen Aussagen der 'response functions' sind zum Teil umstritten. Trotzdem ist es heute die am weitesten verbreitete, multivariate statistische Methode in der Jahrringforschung. Um deren Aussagen zu testen, schlägt CROPPER (1982 b) die Analyse von Pseudochronologien vor. Dabei handelt es sich um konstruierte Zeitreihen, bei denen ein klimatischer Einfluss vorgegeben wird. Mit Hilfe der konventionellen 'response functions' werden nun diese Reihen analysiert und die Aussagen mit den ursprünglich vorgegebenen Einflüssen verglichen.

2.3 Die 'skeleton plot'-Methode

In gewissen Klimagebieten ist die kambiiale Aktivität von Jahr zu Jahr grossen Schwankungen ausgesetzt, was zu Jahrringabfolgen mit extrem unterschiedlichen Jahrringbreiten führen kann. Ein Verfahren, das sich diese Tatsache zunutze macht, ist der 'skeleton plot' (STOKES und SMILEY, 1968). Die Methode dient ausschliesslich der rationellen Datierung von Bohrkernen ohne Jahrringmessung und wird hauptsächlich im trockenen Südwesten der USA angewendet. Die Breite jedes Jahrringes wird optisch mit den benachbarten Vor- und Nachjahren verglichen. Besonders schmale oder auch besonders breite Jahrringe werden in einem sogenannten 'skeleton plot'-Diagramm entsprechend ihrer optisch beurteilten Abweichung mit Balkensignaturen versehen und erlauben die Datierung. Beispiele von 'skeleton plot'-Diagrammen finden sich in der oben genannten Publikation. Liegen bereits gemessene Chronologien vor, können die 'skeleton plot'-Diagramme mit Hilfe eines Computerprogramms berechnet werden (CROPPER, 1979). Im vorliegenden Fall wurden die Diagramme auf diese Art und Weise gezeichnet.

3 Material

3.1 Herkunft des Probenmaterials

In der vorliegenden Studie wurden Höhenprofile aus vier verschiedenen Untersuchungsräumen jahrringanalytisch bearbeitet. Die geographische Lage der Gebiete ist aus der Abbildung 3 ersichtlich.



Abbildung 3: Geographische Lage der Untersuchungsräume.

- I : Walliser Rhonetal, Schweiz.
- II : Jura, Schweiz.
- III: Troodosgebirge, Zypern.
- IV : Front Range, Colorado, USA.

3.1.1 Der Untersuchungsraum des Walliser Rhonetals, Schweiz

Das Gebiet des Wallis kann ziemlich genau durch das Einzugsgebiet der Rhone beschrieben werden (Abbildung 4). Es wird nach GUTERSOHN (1961) in drei Abschnitte eingeteilt, nämlich in das Oberwallis (Furka - Pfyn), das Mittelwallis (Pfyn - Martigny) und das Unterwallis (Martigny - Genfersee).

Klima. Ein typisches Merkmal des Walliser Klimas ist die Trockenheit. Westwinde können das allseits von Bergketten umgebene, inneralpine Tal nur als Fallwinde erreichen. Der einzige Durchbruch liegt bei St. Maurice, wo feuchte Luftmassen ins Tal eindringen können. Deshalb sind im Unterwallis die Niederschlagsmengen grösser als in der Gegend von Siders. Bei südlichen und nördlichen Luftströmungen haben die Walliser Alpen die gleiche abschirmende Wirkung wie bei Westwind. Mit zunehmender Meereshöhe wird das kontinental geprägte, steppenartige Klima (BURNAND, 1976) zu einem typischen Hochgebirgsklima mit hohen Niederschlagsmengen und tiefen Jahresmitteltemperaturen (Abbildung 5).

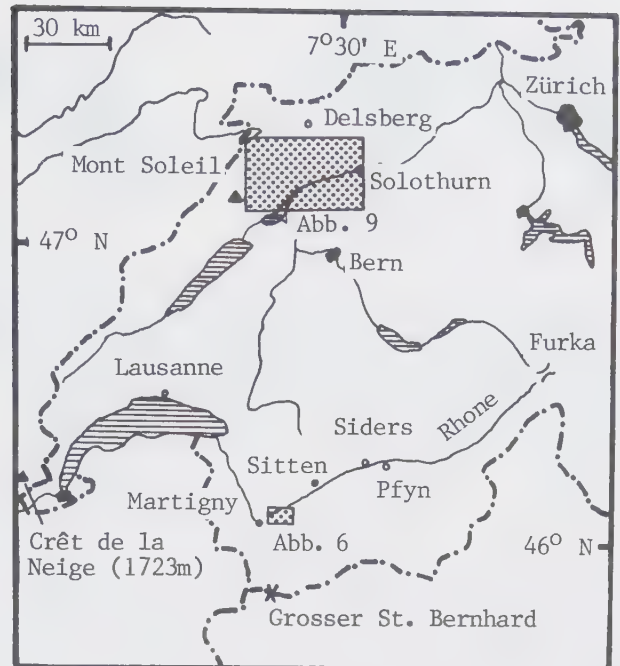


Abbildung 4: Die Untersuchungsräume des Walliser Rhonetals und des Juras mit Angaben über die Lage der Detailkarten.

In den trockenen Tieflagen des Wallis ist die tägliche Temperaturamplitude infolge der durchschnittlich geringen Bewölkung gross (hohe Einstrahlung am Tag, hohe Ausstrahlung in der Nacht). Spät- und Frühfröste treten deshalb oft auf und bilden ein Hemmnis für die Landwirtschaft. Der Wind ist ein charakteristisches Klimaelement des Haupttals. Im allgemeinen beobachtet man am Tag eine kräftige, talaufwärts gerichtete und in der Nacht eine schwache, talabwärts gerichtete Luftströmung (FERLIN et al., 1982). Die Winde widerspiegeln die Austauschströmung zwischen dem Haupttal und dem Genfersee.

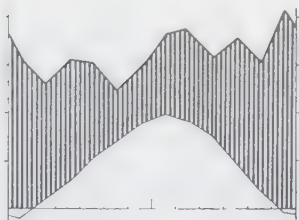
Vegetation. Die Gebirgserhebungen bewirken im Wallis deutliche Vegetationsstufen (SCHMID, 1950, Karte; BURNAND, 1976). Zwischen rund 900 und zirka 1900 Meter ü.M. wurden Bohrproben entnommen. Die Bestände liegen in folgenden Waldgürteln:

- Tieflagen: Vorherrschend *Pinus sylvestris* L., an bestimmten Standorten *Quercus pubescens* Willd.
- Mittlere Lagen: Hauptsächlich *Picea abies* (L.) Karst. und *Abies alba* Mill., an speziellen Standorten *Pinus sylvestris* L. und *Fagus sylvatica* L.
- Subalpine Lagen: Vorherrschend *Picea abies* (L.) Karst. und *Larix decidua* Mill.

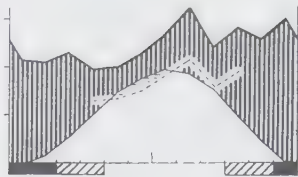
Martigny (455m) 9,5° 771
(17-40)

Sitten (542m) 9,7° 590
(77)

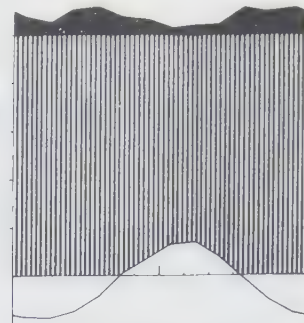
Grosser St. Bernhard (2479m)
(40) -1,7° 2140



Klimatyp: Cfb



Klimatyp: Cfb



Klimatyp: ET

Abbildung 5: Klimadiagramme aus dem Walliser Rhonetel mit den zugehörigen Klimaklassifikationen nach KOEPPEN (1923, 1931) zit. in HEYER (1977). Die Stationen Martigny und Sitten widerspiegeln das Walliser Trockenklima tiefer Lagen, während die Station Grosser St. Bernhard das Hochgebirgsklima einer benachbarten Höhenstation wiedergibt. Die Bedeutung der Signaturen ist im Anhang in der Abbildung 64 erläutert (aus WALTER und LIETH, 1960, 1964, 1967).

Geologie. Tektonisch liegt das Untersuchungsgebiet in der Zone zwischen dem Mont Blanc-Massiv und dem Penninikum und ist zum Teil durch mechanisch stark beanspruchte Kalke der autochthonen Sedimentbedeckung, des Helvetikums und des Ultrahelvetikums gekennzeichnet (OULIANOFF zit. in TRUEMPY, 1980).

Standortsbeschreibung. Im Gebiet von Saxon wurden entsprechend dem Prinzip der Höhenprofile (Abbildung 1) elf Probeflächen ausgewählt. Die Abbildungen 6 und 7 sowie die

Tabelle 2 geben Auskunft über die Standorte und ihre Eigenschaften. Die geographische Lage der untersuchten Bestände ist aus der Höhengschichtenkarte ersichtlich. Die Probeflächen sind mit den Chronologieabkürzungen versehen, damit die Zuordnung im dendroökologischen Diagramm erleichtert wird. Jedes Feld im Diagramm steht stellvertretend für eine Probefläche. Die Lage des Feldes ergibt sich aus den Standortseigenschaften und der Höhenlage des entsprechenden Bestandes. Die wichtigsten Eigenschaften sind graphisch dargestellt und kurz erläutert.

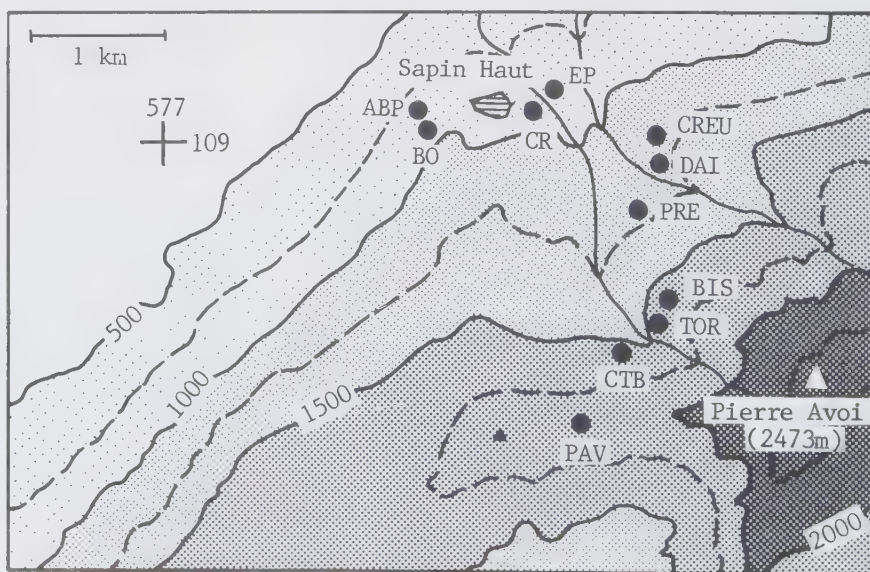
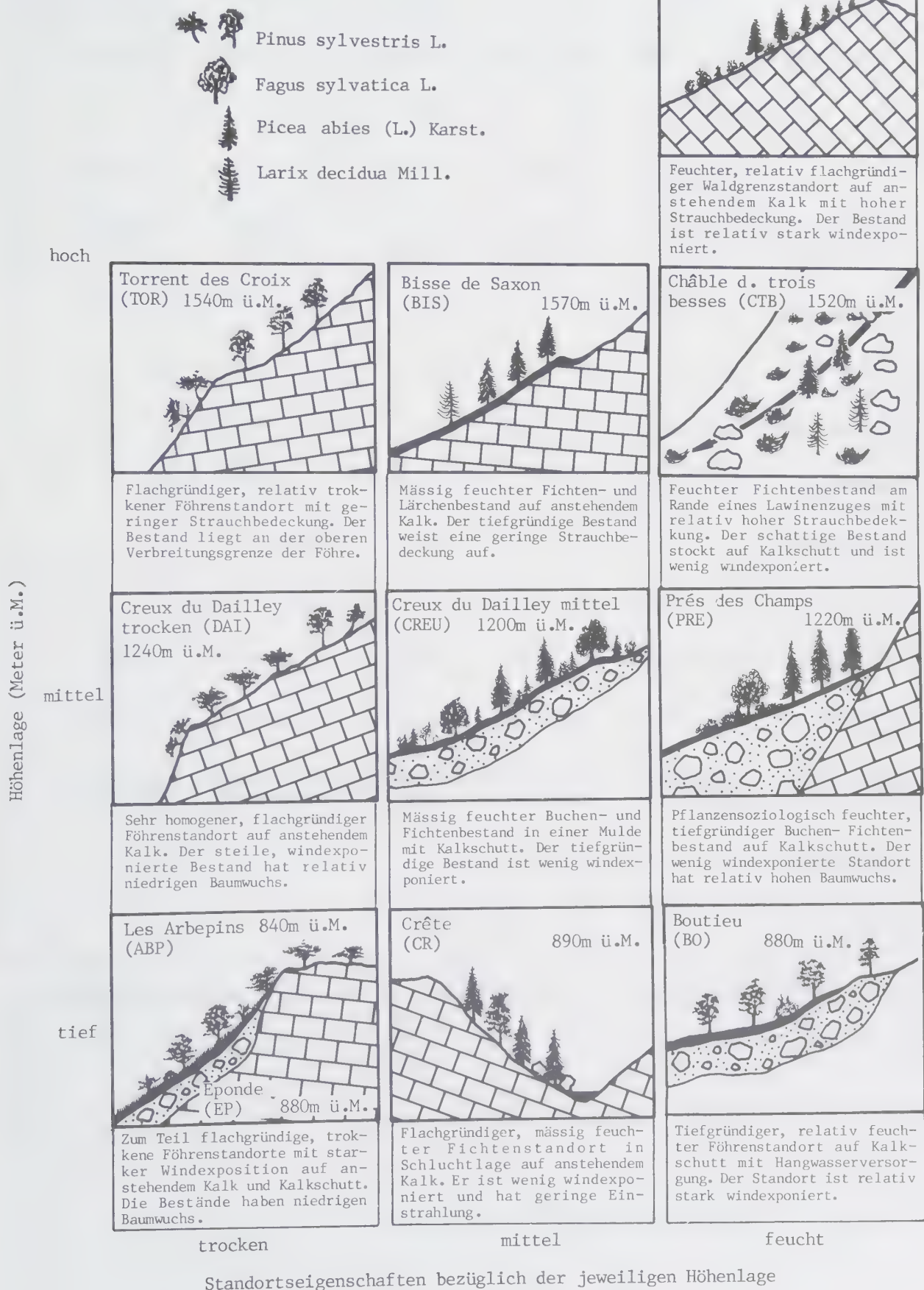


Abbildung 6: Höhengschichtenkarte des Untersuchungsraumes Walliser Rhonetel.

Abbildung 7: Dendroökologisches Diagramm der Probeflächen aus dem Walliser Rhonetal.



Standorts- bezeichnung	Les Arbepins (ABP)	Eponde (EP)	Boutieu (BO)	Crête (CR)	Creux du Dailley trocken (DAI)
Probeentnahme	August 1980	August 1980	August 1980	August 1980	August 1980
Land	CH	CH	CH	CH	CH
Region	Kt. Wallis	Kt. Wallis	Kt. Wallis	Kt. Wallis	Kt. Wallis
Koordinaten (Lan- deskarte d. CH)	578'700 109'200	579'800 109'500	578'900 109'150	579'750 109'300	580'500 108'900
Höhenlage (Meter ü.M.)	840	880	880	890	1240
Exposition	SW	SW	NW	NE	SW
Neigung (Winkel- grad)	15	15	10	20	25
Baumbedeckung (Prozent)	40	25	45	40	55
Strauchbedeckung (Prozent)	10	20	20	30	5
Krautbedeckung (Prozent)	5	5	10	25	1
Baumhöhe (Meter)	bis 12	bis 10	bis 15	bis 20	bis 13
Strauchhöhe (Meter)	bis 2	bis 1,5	bis 1,5	bis 2	bis 2
Untersuchte Baumarten	Pinus sylve- stris L.	Pinus sylve- stris L.	Pinus sylve- stris L.	Picea abies (L.) Karst.	Pinus sylve- stris L.
Anzahl der unter- suchten Bäume	12	20	16	14	16
Anzahl Bohrkerne pro Baum	2	2	2	2	2

Tabelle 2: Wichtige Eigenschaften der Probeflächen aus dem Walliser Rhonetal, Schweiz.

Creux du Dailley mittel (CREU)	Prés des Champs (PRE)	Torrent des Croix (TOR)	Bisse de Saxon (BIS)	Châble d. trois besses (CTB)	Pierre Avoi (PAV)
August 1980	August 1980	August 1980	August 1980	August 1980	August 1980
CH	CH	CH	CH	CH	CH
Kt. Wallis	Kt. Wallis	Kt. Wallis	Kt. Wallis	Kt. Wallis	Kt. Wallis
580'500 109'050	580'350 108'500	580'450 107'750	580'550 107'900	580'450 107'650	580'150 107'100
1200	1220	1540	1570	1520	1900
NW	NW	W	NW	N	N
10	10	25	15	10 (Schlucht)	15
65	80	40	70	20	20
10	5	2	2	40	45
10	5	20	10	60	40
bis 15	bis 16	bis 15	bis 15	bis 18	bis 15
bis 3	bis 2	bis 2	bis 1,5	bis 3	bis 2
Picea abies (L.) Karst.	Picea abies (L.) Karst.	Pinus sylve- stris L.	Picea abies (L.) Karst.	Picea abies (L.) Karst.	Picea abies (L.) Karst.
15	13	15	15	14	12
2	2	2	2	2	2

Tabelle 2: (Fortsetzung)

3.1.2 Der Untersuchungsraum des Juras, Schweiz

Der Jura, ein generell von Südwest nach Nordost streichendes Gebirge, zweigt westlich von Chambéry von den französischen Alpen ab und bildet ein eigenständiges Mittelgebirge. Die grösste Erhebung bildet der Crêt de la Neige (Abbildung 4) mit einer Höhe von 1723 Meter ü.M. Von Westen nach Osten nimmt die Höhe des Gebirges generell ab.

Klima. Nach GUTERSOHN (1958) ist das Klima in tiefen Lagen feuchttemperiert gemässigt (Cfb nach KOEPPEN, 1923, 1931, zit. in HEYER, 1977) und weist weit höhere Niederschlagsmengen auf als das Wallis. Hochlagen werden dem Cfc oder dem Df-Klima nach KOEPPEN zugeordnet (Abbildung 8). Die Niederschlagsmengen nehmen von Westen nach Osten ab. Relative Trockengebiete, wie zum Beispiel das Becken von Delsberg, liegen im Regenschatten der vorherrschenden Westwinde. Ein typisches Phänomen sind die Kaltluftseen, die sich in den häufig auftretenden intramontanen Becken bilden. Der Ort La Brévine ist ein typisches Beispiel dafür. Wegen der fehlenden Föhnwinde ist die Schneeschmelze im Frühjahr verzögert und der Winter lang. Die Winde werden mit Ausnahme des Plateaujuras durch die Gebirgszüge kanalisiert.

Vegetation. Die Orographie wirkt sich in einer deutlichen Höhenzonierung der Vegetation aus. Zwischen rund 600 und zirka 1500 Meter ü.M. wurden Bohrproben entnommen. Die Bestände liegen in folgenden Waldgürteln:

- Tieflagen: Vorherrschend *Fagus sylvatica* L., *Abies alba* Mill. und *Picea abies* (L.) Karst., an Trockenstandorten *Pinus sylvestris* L.
- Mittlere Lagen: Hauptsächlich *Picea abies* (L.) Karst., an extremen Trockenstandorten *Pinus sylvestris* L.
- Subalpine Lagen: Vorherrschend *Picea abies* (L.) Karst.

Die obere Waldgrenze ist vermutlich lokalklimatisch bedingt. Die heftigen, mehrheitlich aus Richtung West wehenden Winde halten die Gipfel meistens schneefrei, so dass die für die Waldentwicklung wichtige, schützende Schneedecke fehlt. Die klimatisch mögliche Waldgrenze liegt nach MOOR (1952) auf rund 1700 Meter ü.M.

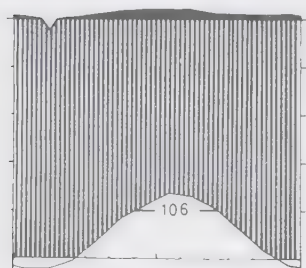
Geologie. Das geologisch junge, einfach gebaute Faltengebirge besteht ausschliesslich aus mesozoischen Sedimenten wie Kalke, Tone und Mergel. Die Becken und Synklinalen sind häufig mit tertiären Sedimenten gefüllt. Die Probestandorte liegen ausschliesslich im Faltenjura (FISCHER, 1967, zit. in BARSCH, 1969).

Standortsbeschreibung. Im Untersuchungsraum des Juras wurden entsprechend dem Prinzip der Höhenprofile (Abbildung 1) fünf Probeflächen ausgewählt. Die Abbildungen 9 und 10 sowie die Tabelle 3 geben Auskunft über die Standorte und ihre Eigenschaften. Die geographische Lage der untersuchten Bestände ist aus der Höhenschichtenkarte ersichtlich. Die Probeflächen sind mit den Chronologieabkürzungen versehen, damit die Zuordnung im dendroökologischen Diagramm erleichtert wird. Jedes Feld im Diagramm steht stellvertretend für eine Probefläche. Die Lage des Feldes ergibt sich aus den Standortseigenschaften und der Höhenlage des entsprechenden Bestandes. Die wichtigsten Eigenschaften sind graphisch dargestellt und kurz erläutert.

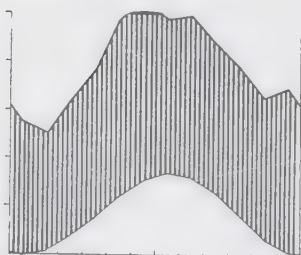
Mont Soleil (1180m) 5,2° 1473
(52-40)

Delsberg (418m) 8,0° 943
(2-40)

Bern (570m) 8,9° 974
(30-77)



Klimatyp: Cfc



Klimatyp: Cfb



Klimatyp: Cfb

Abbildung 8: Klimadiagramme aus dem Jura und dem schweizerischen Mittelland mit den zugehörigen Klimaklassifikationen nach KOEPPEN (1923, 1931) zit. in HEYER (1977). Die Station Mont Soleil widerspiegelt ein typisches Höhenklima des Juras, während die Station Delsberg typisch für ein relativ trockenes intramontanes Becken ist. Als Vergleichsstation dient die Klimastation Bern. Die Bedeutung der Signaturen ist im Anhang in der Abbildung 64 erläutert (aus WALTER und LIETH, 1960, 1964, 1967).

Abbildung 9: Höhengschichtenkarte des Untersuchungsraumes Jura.

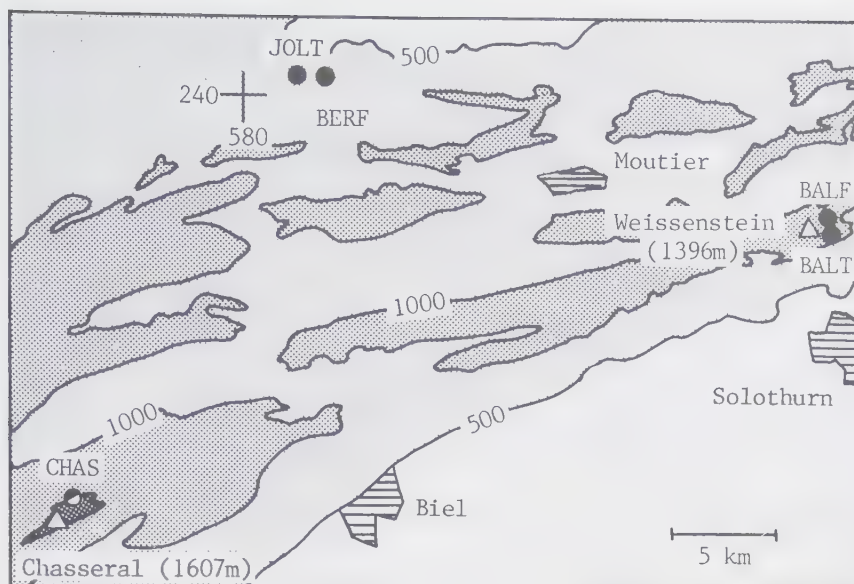
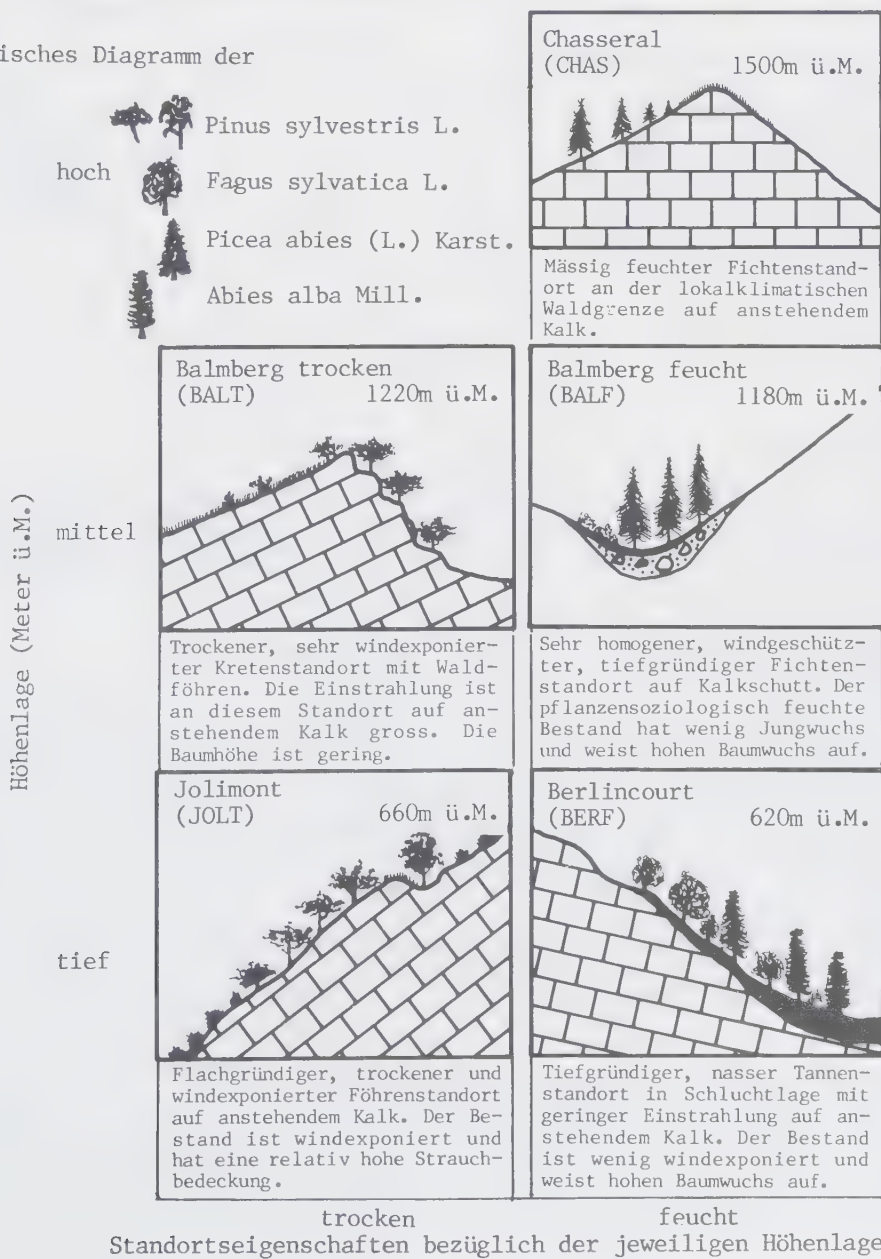


Abbildung 10: Dendroökologisches Diagramm der Probestellen aus dem Jura.



Standorts- bezeichnung	Jolimont (JOLT)	Berlincourt (BERF)	Balmberg trocken (BALT)	Balmberg feucht (BALF)	Chasseral (CHAS)
Probeentnahme	Juni 1983	Juni 1983	Juni 1983	Juni 1983	September 1975
Land	CH	CH	CH	CH	CH
Region	Kt. Jura	Kt. Jura	Kt. Solothurn	Kt. Solothurn	Kt. Bern
Koordinaten (Lan- deskarte d. CH)	583'000 241'250	583'700 240'900	607'500 233'500	607'300 233'600	572'000 220'500
Höhenlage (Meter ü.M.)	660	620	1220	1180	1500
Exposition	SE	NW	SE	NW	N
Neigung (Winkel- grad)	15	10	25	10	20
Baumbedeckung (Prozent)	25	60	20	65	15
Strauchbedeckung (Prozent)	25	10	10	10	10
Krautbedeckung (Prozent)	5	20	5	5	5
Baumhöhe (Meter)	bis 10	bis 20	bis 8	bis 20	bis 10
Strauchhöhe (Meter)	bis 2	bis 2	bis 1	bis 1,5	bis 2
Untersuchte Baumarten	Pinus sylve- stris L.	Abies alba Mill.	Pinus sylve- stris L.	Picea abies (L.) Karst.	Picea abies (L.)Karst.
Anzahl der unter- suchten Bäume	12	13	13	12	30
Anzahl Bohrkerne pro Baum	2	2	2	2	1

Tabelle 3: Wichtige Eigenschaften der Probeflächen aus dem Jura, Schweiz.

3.1.3 Der Untersuchungsraum der Front Range, Colorado, USA

Die Front Range ist die östlichste Randkette der Rocky Mountains im Bundesstaat Colorado. Das von Norden nach Süden verlaufende Gebirge wird im Osten von den High Plains abgegrenzt (Abbildung 11). Im Westen ist die Grenze unscharf. Sie wird von den intramontanen Becken des Felsengebirges gebildet. Die höchsten Erhebungen der Front Range liegen hauptsächlich im zentralen Teil und erreichen Meereshöhen zwischen 3800 und 4115 Meter ü.M. (THOMPSON, 1969).

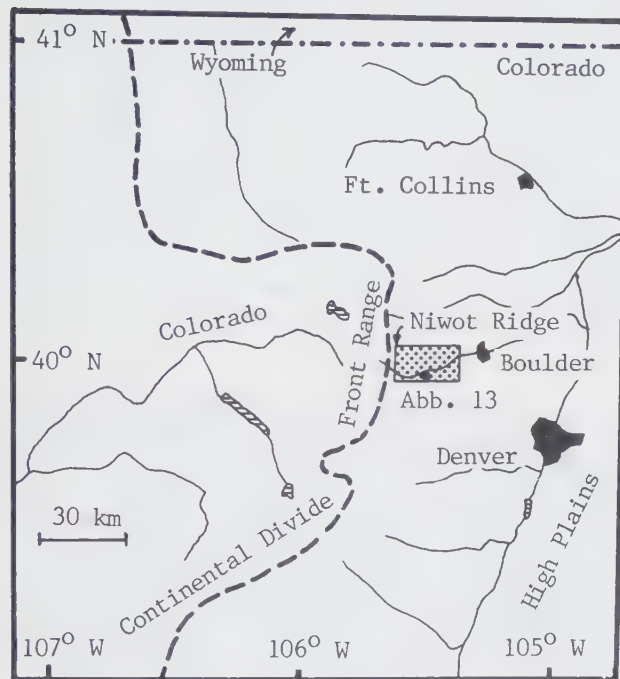


Abbildung 11: Der Untersuchungsraum der Front Range, Colorado, USA, mit Angaben über die Lage der Detailkarte.

Klima. Grossklimatisch gehört das Gebiet zum trockenen Westen Nordamerikas. In den tiefen Lagen der Front Range und den angrenzenden Prärien ist das Klima semiarid und kontinental geprägt. Es wird nach KOEPPEN (1923, 1931) zit. in HEYER (1977) dem kalten Steppenklimate (BSk) zugeordnet. Verfolgt man die klimatologischen Bedingungen entlang einer Transekte von den Prärien bis zur Continental Divide, so stellt man eine markante Zunahme der Niederschläge und eine Abnahme der Temperaturen fest (BARRY, 1973). Die erhöhten Niederschlagsmengen sind einerseits auf Steigungsregen bei Ostwind, andererseits auf die vermehrte Gewittertätigkeit über dem Gebirge zurückzuführen. Die Unterschiede zwischen dem Klima der High Plains und dem Hochgebirge sind in der Abbildung 12 mit Klimadiagrammen dargestellt. Auf 3750 Meter ü.M. (Klimastation Niwot Ridge) erreichen die Niederschläge eine durchschnittliche Jahresmenge von rund

100 cm gegenüber 36 cm auf zirka 1600 Meter ü.M. (Klimastation Denver).

Denver (1589m) 8,1° 357 (73) Niwot Ridge (3750m) (18-4) -3,8° 1021

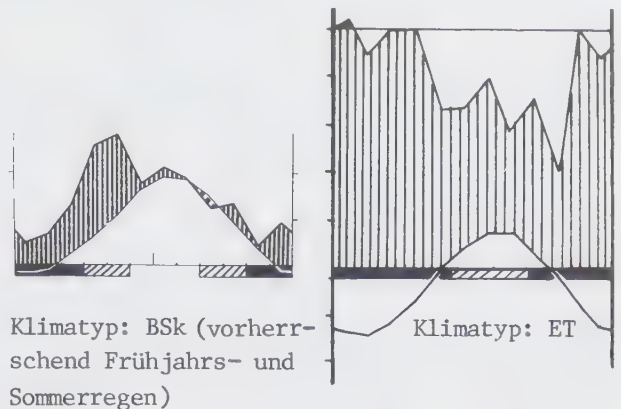


Abbildung 12: Klimadiagramme aus der Front Range und den angrenzenden Prärien mit den zugehörigen Klimaklassifikationen nach KOEPPEN (1923, 1931) zit. in HEYER (1977). Die typische Höhenstation Niwot Ridge wird mit Denver, einer Station der High Plains verglichen. Die Bedeutung der Signaturen ist im Anhang in der Abbildung 64 erläutert (nach MAY und WEBBER, 1982; aus WALTER und LIETH, 1960, 1964, 1967).

Ein typisches Klimatelement der Front Range ist der Wind. Der sogenannte Chinook, eine mehr oder weniger äquivalente Erscheinung zum Alpenföhn, entsteht, wenn die Druckverteilung über dem westlichen Teil Nordamerikas zu einer von Westen nach Osten gerichteten Ausgleichsströmung über den zentralen Rocky Mountains führt. Der Fallwind erfährt wegen der grossen Höhendifferenzen zwischen dem Gebirgskamm und den Prärien eine starke trockenadiabatische Erwärmung. Häufige und rasche Temperaturwechsel sowie eine beschleunigte Schneeschmelze sind die Folge solcher Chinook-Wetterlagen. Sie führen zusammen mit Kälte- und Hitzewellen, die für den ganzen nordamerikanischen Kontinent typisch sind, zu grossen Temperaturschwankungen im Untersuchungsgebiet. Genauere Angaben über Chinook-Phänomene machen COOK und TOPIL (1952). An der oberen Waldgrenze führen die starken Winde oft zu typischen Windformen der Vegetation.

Vegetation. Wegen der Gebirgserhebung ist die Höhenzonierung der Vegetation sehr ausgeprägt (DAUBENMIRE, 1943; LOEVE, 1970; NOBLE, 1984, schriftliche Mitteilung vom 17. 10. 1984). Zwischen rund 1900 und zirka 3400 Meter ü.M. wurden Bohrproben entnommen. Die Bestände liegen in folgenden Waldgürteln:

- Tieflagen: Vorherrschend *Pinus ponderosa* Dougl. und *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco.
- Mittlere Lagen: Hauptsächlich *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, *Pinus ponderosa* Dougl. und zum Teil *Pinus contorta* Dougl. ex Loudon sowie *Picea pungens* Engelm.
- Subalpine Lagen: Vorherrschend *Picea engelmannii* Parry, *Abies lasiocarpa* (Hook.) Nutt. und *Pinus flexilis* James, zum Teil auch *Pinus contorta* Dougl. ex Loudon und *Populus tremuloides* Michx.

Die Waldgrenze liegt auf rund 3300 bis 3500 Meter ü.M. Die subalpine Stufe gehört wegen den oft charakteristischen Windformen zur Krummholzzone (KOMÁRKOVÁ, 1976; KOMÁRKOVÁ und WEBBER, 1978). Die obere Waldgrenze ist temperaturbedingt, wobei der Wind modifizierend wirken kann. Die Trockenheit, hohe Temperaturen und die Bodenbeschaffenheit führen zu einer unteren Begrenzung der Waldverbreitung. Flussläufe oder edaphisch trockene Felsrippen können die Vegetationszonen in mittleren und tiefen Lagen beträchtlich verschieben.

Geologie. Die Front Range gehört wie die übrigen Ketten der Rocky Mountains zu den tertiären Gebirgszonen. Sie ist im Westen und im Osten von einem dünnen Sedimentmantel umgeben, der an den Rändern aufgewölbt ist. Zur Hauptsache wird die Kette von Plutoniten gebildet, die während der Gebirgsbildung in Schollen zerbrochen und sich vertikal verschoben (IVES und DOW, 1982).

Standortsbeschreibung. Im Untersuchungsraum der Front Range wurden entsprechend dem Prinzip der Höhenprofile (Abbildung 1) sechs Probeflächen ausgewählt. Die Abbildungen 13 und 14 sowie die Tabelle 4 geben Auskunft über die Standorte und ihre Eigenschaften. Die geographische Lage der untersuchten Bestände ist aus der Höhengschichtenkarte ersichtlich. Die Probeflächen sind mit den Chronologieabkürzungen versehen, damit die Zuordnung im dendroökologischen Diagramm erleichtert wird. Jedes Feld im Diagramm steht stellvertretend für eine Probefläche. Die Lage des Feldes ergibt sich aus den Standortseigenschaften und der Höhenlage des entsprechenden Bestandes. Die wichtigsten Eigenschaften sind graphisch dargestellt und kurz erläutert.

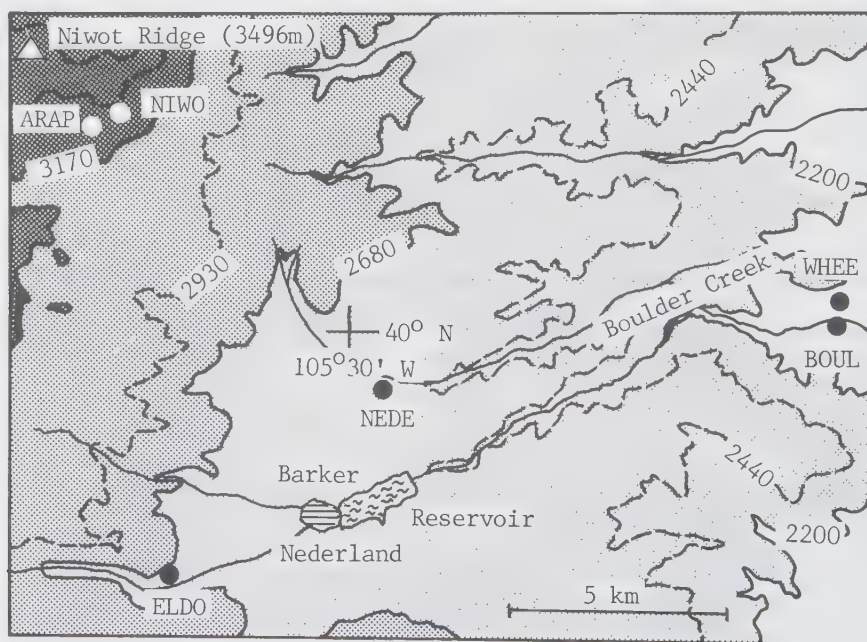


Abbildung 13: Höhengschichtenkarte des Untersuchungsraumes Front Range.

-  *Pinus flexilis* James
-  *Pinus ponderosa* Dougl.
-  *Picea engelmannii* Parry
-  *Picea pungens* Engelm.
-  *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco

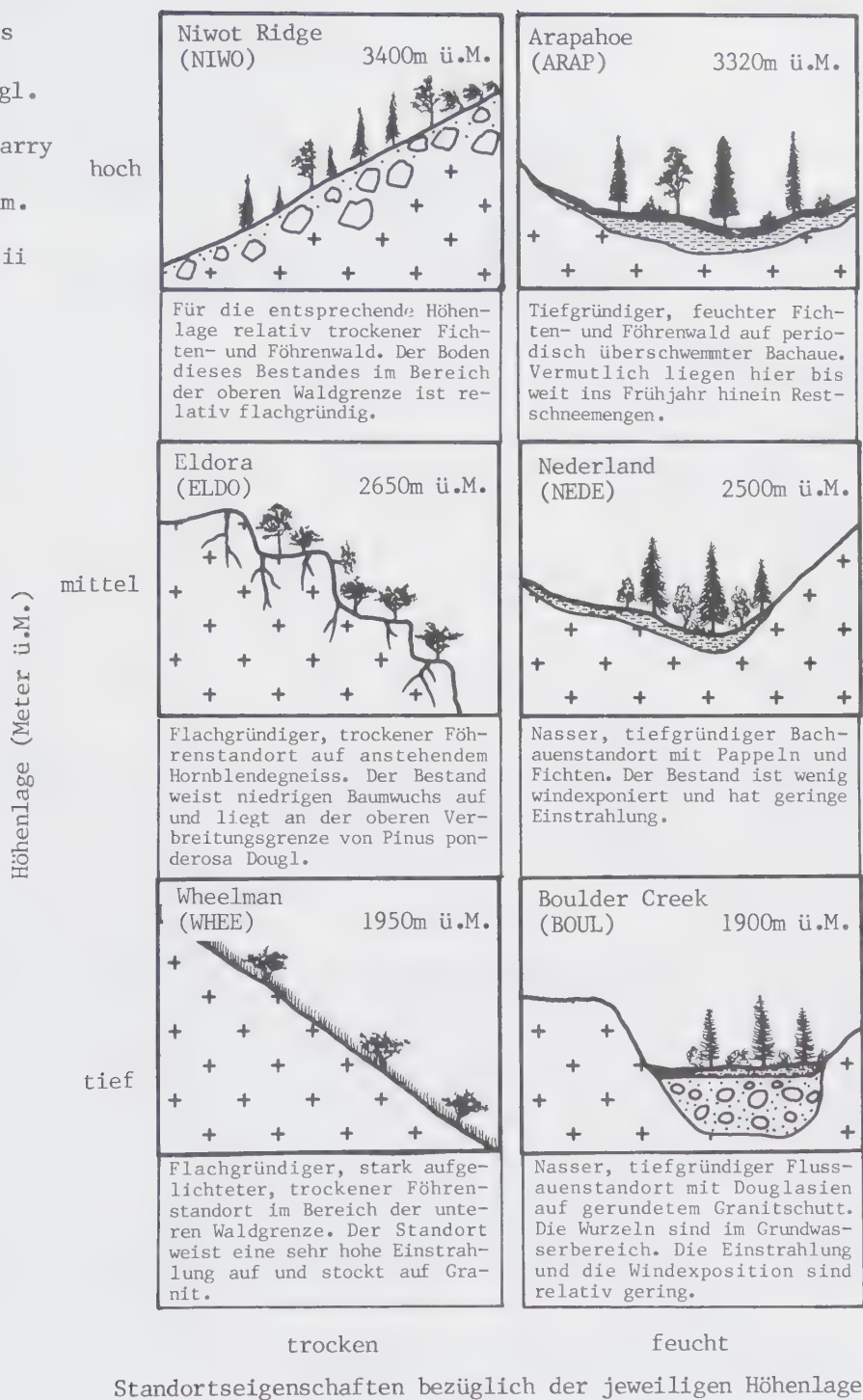


Abbildung 14: Dendroökologisches Diagramm der Probeflächen aus der Front Range.

Standorts- bezeichnung	Wheelman (WHEE)	Boulder Creek (BOUL)	Eldora (ELDO)	Nederland (NEDE)	Niwot Ridge (NIWO)	Arapahoe (ARAP)
Probeentnahme	August 1983	August 1983	August 1983	August 1983	August 1983	August 1983
Land	USA	USA	USA	USA	USA	USA
Region	Front Range Colorado	Front Range Colorado	Front Range Colorado	Front Range Colorado	Front Range Colorado	Front Range Colorado
Koordinaten	40°00' N 105°22' W	40°00' N 105°22' W	39°57' N 105°33' W	39°59' N 105°30' W	40°03' N 105°34' W	40°03' N 105°35' W
Höhenlage (Meter ü.M.)	1950	1900	2650	2500	3400	3320
Exposition	SE	—	SE	NW	SE	SE
Neigung (Winkel- grad)	15	Schlucht	20	Talboden	10	2
Baumbedeckung (Prozent)	10	75	50	60	75	80
Strauchbedeckung (Prozent)	2	50	1	15	5	2
Krautbedeckung (Prozent)	75	75	10	15	50	80
Baumhöhe (Meter)	bis 12	bis 18	bis 8	bis 25	bis 10	bis 20
Strauchhöhe (Meter)	bis 2	bis 2	bis 1,5	bis 2	bis 1,5	bis 2
Untersuchte Baumarten	Pinus ponde- rosa Dougl.	Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco	Pinus ponde- rosa Dougl.	Picea pungens Engelm.	Picea engel- mannii Parry	Picea engel- mannii Parry
Anzahl der unter- suchten Bäume	12	13	12	13	12	12
Anzahl Bohrkerne pro Baum	2	2	2	2	2	2

Tabelle 4: Wichtige Eigenschaften der Probeflächen aus der Front Range, Colorado, USA.

3.1.4 Der Untersuchungsraum des Troodos-gebirges, Zypern

Zypern liegt im östlichen Mittelmeer und ist nach Sizilien und Sardinien die drittgrösste Insel des Binnenmeeres. Zwei Gebirgszüge charakterisieren das Relief der Insel: das Troodos-Massiv im Süden und das Kyreniagebirge im Norden (Abbildung 15). Dazwischen liegt die Mesaoriaebene, in der heute die Grenze zwischen dem griechisch-zypriotischen Teil der Insel und dem türkisch besetzten Gebiet verläuft (Attila-Linie).

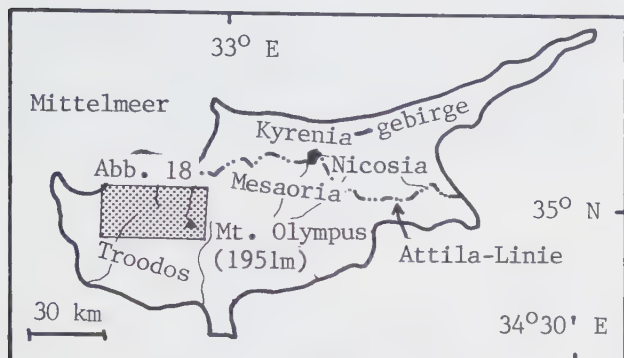


Abbildung 15: Der Untersuchungsraum Zypern mit Angaben über die Lage der Detailkarte.

Klima. Zypern hat ein typisches Mittelmeerklima, das durch die Orographie modifiziert wird (TAKAHASHI und ARAKAWA, 1981). Die Jahresniederschlagsmengen steigen gegen das Troodosgebirge stark an und erreichen in den höchsten Lagen etwa 100 cm (Abbildung 16). Wegen der vorherrschenden Südwestwinde (MCGINNIGLE, 1971, 1972) wird die Luvseite des Troodos-Massivs stärker beregnet als die im Windschatten gelegene Mesaoriaebene. In der Abbildung 17 sind die klimatischen Unterschiede zwischen Hoch- und Tieflagen mit Hilfe von Klimadiagrammen graphisch dargestellt. Es fällt auf, dass auf rund 1900 Meter ü.M. (Mt. Olympus) immer noch drei Monate des Sommers arid sind. Die Gebirgserhebung vermag folglich die Sommertrockenheit lediglich zu verkürzen, nicht aber aufzuheben. Die Winter sind in tiefen Lagen mild. Auf dem Mt. Olympus sinken hingegen die Durchschnittstemperaturen der kältesten Monate unter den Gefrierpunkt. Schnee liegt hier während rund fünf Monaten im Jahr. Die Winde sind stärker als in tiefen Lagen und die Bewölkung grösser (MCGINNIGLE, 1971, 1972).

Durch die Festlandnähe ist der Einfluss der kontinentalen Luftmassen bereits relativ gross, was sich in der Jahrestemperaturamplitude bemerkbar macht. Der Übergang vom mild-feuchten Winter zum trocken-heissen Sommer ist in den Tieflagen häufig sehr abrupt und der Frühling deshalb kurz. Die Niederschlagschwankungen von Jahr zu Jahr sind beträchtlich und langandauernde Trockenperioden

wurden bereits im 4. Jahrhundert n. Chr. beobachtet. Eine rund 36 Jahre dauernde Trockenperiode soll die Insel damals praktisch entvölkert haben (MEIKLE, 1977).

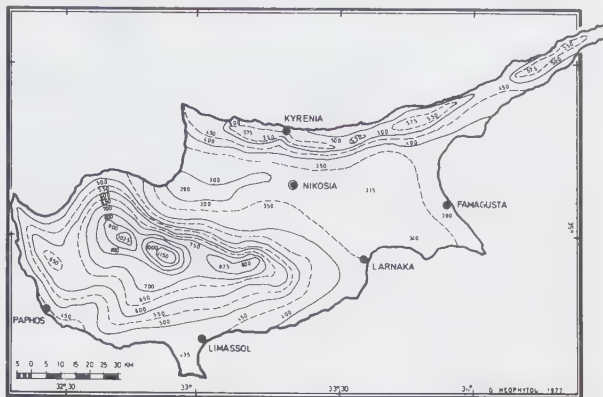


Abbildung 16: Verteilung der mittleren Jahresniederschlagsmengen (mm) zwischen 1941 und 1970 auf Zypern (aus NEOPHYTOU, 1977).

Mt. Olympus (1936m)	Nicosia (220m)
(10)	(28)
8,4°	18,9° 379

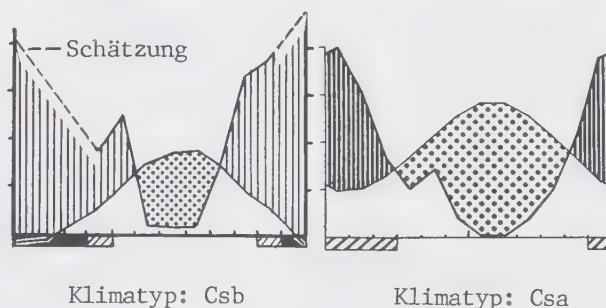


Abbildung 17: Klimadiagramme von Zypern mit den zugehörigen Klimaklassifikationen nach KOEPPEN (1923, 1931) zit. in HEYER (1977). Die Höhenstation des Mt. Olympus zeigt trotz erhöhter Niederschlagsmenge die typische Sommertrockenheit des Mittelmeerklimas. Bei der Station Nicosia, die in der Mesaoriaebene liegt, ist der heisse, trockene Sommer sehr ausgeprägt. Die Bedeutung der Signaturen ist im Anhang in der Abbildung 64 erläutert (nach MCGINNIGLE, 1971, 1972; aus WALTER und LIETH, 1960, 1964, 1967).

Vegetation. Zypern ist aus dem Altertum als Waldinsel überliefert. Heute macht der Waldanteil nur noch rund 19% der Landesfläche aus (NEOPHYTOU, 1977). Der Rückgang ist hauptsächlich auf unkontrollierte Abholzung, Waldbrände und die Waldweide zurückzuführen. Durch kriegerische Auseinandersetzungen wurden in jüngster Zeit grosse Waldflächen zerstört, die heute wegen Erosionsgefahr wieder mühsam aufgeforstet werden müssen. Die Vegetation weist ostmediterrane Charakterzüge auf, und die Nähe zu Kleinasien widerspiegelt

sich in vielen Florenelementen. Einige Gebirgsendemiten besiedeln die Hänge des Troodos-Massivs (RIKLI, 1946).

Zwischen rund 500 und zirka 1900 Meter ü.M. wurden Bohrproben entnommen. Die Bestände liegen in folgenden Waldgürteln:

- Tieflagen: Hauptsächlich *Pinus brutia* Ten.
- Mittlere Lagen: Vorherrschend *Pinus brutia* Ten. und *Cedrus brevifolia* Henry, vereinzelt bereits *Pinus nigra* ssp. *pallasiana* (Lamb.) Holmb.
- Subalpine Lagen: Hauptsächlich *Pinus nigra* ssp. *pallasiana* (Lamb.) Holmb., zum Teil *Pinus brutia* Ten. und *Juniperus foetidissima* Willd.

Geologie. Zypern kann in folgende geologische Grossregionen eingeteilt werden (KORTAN, 1970; NEOPHYTOU, 1977; PANTAZIS, 1971):

- Troodosgebirge: Zone der Eruptivgesteine.
- Kyreniagebirge und Südwestteil der Insel: Zone der Sedimentgesteine (Karbon bis mittleres Miozän).
- Mesaoriaebene und Küstenebenen: Alluvionen und Fanglomerate (ab oberes Miozän).

Die untersuchten Probestandorte liegen alle im Gebiet der Troodos-Eruptiva, die etwa in der oberen Kreide gebildet wurden.

Standortsbeschreibung. Im Untersuchungsraum des Troodosgebirges wurden entsprechend dem Prinzip der Höhenprofile (Abbildung 1) elf Probeflächen ausgewählt. Die Abbildungen 18 und 19 sowie die Tabelle 5 geben Auskunft über die Standorte und ihre Eigenschaften. Die geographische Lage der untersuchten Bestände ist aus der Höhengschichtenkarte ersichtlich. Die Probeflächen sind mit den Chronologieabkürzungen versehen, damit die Zuordnung im dendroökologischen Diagramm erleichtert wird. Jedes Feld im Diagramm steht stellvertretend für eine Probefläche. Die Lage des Feldes ergibt sich aus den Standortseigenschaften und der Höhenlage des entsprechenden Bestandes. Die wichtigsten Eigenschaften sind graphisch dargestellt und kurz erläutert.

Abbildung 18: Höhengschichtenkarte des Untersuchungsraumes Troodosgebirge.

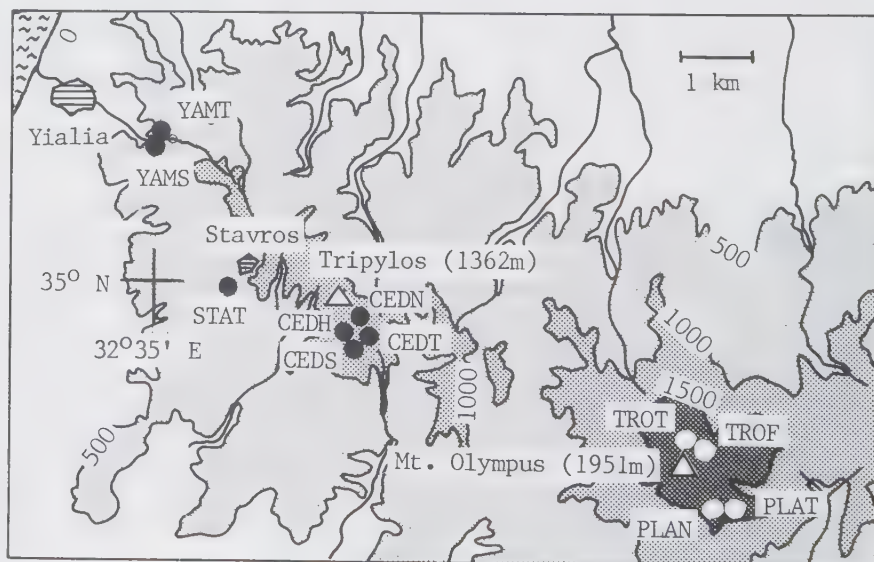
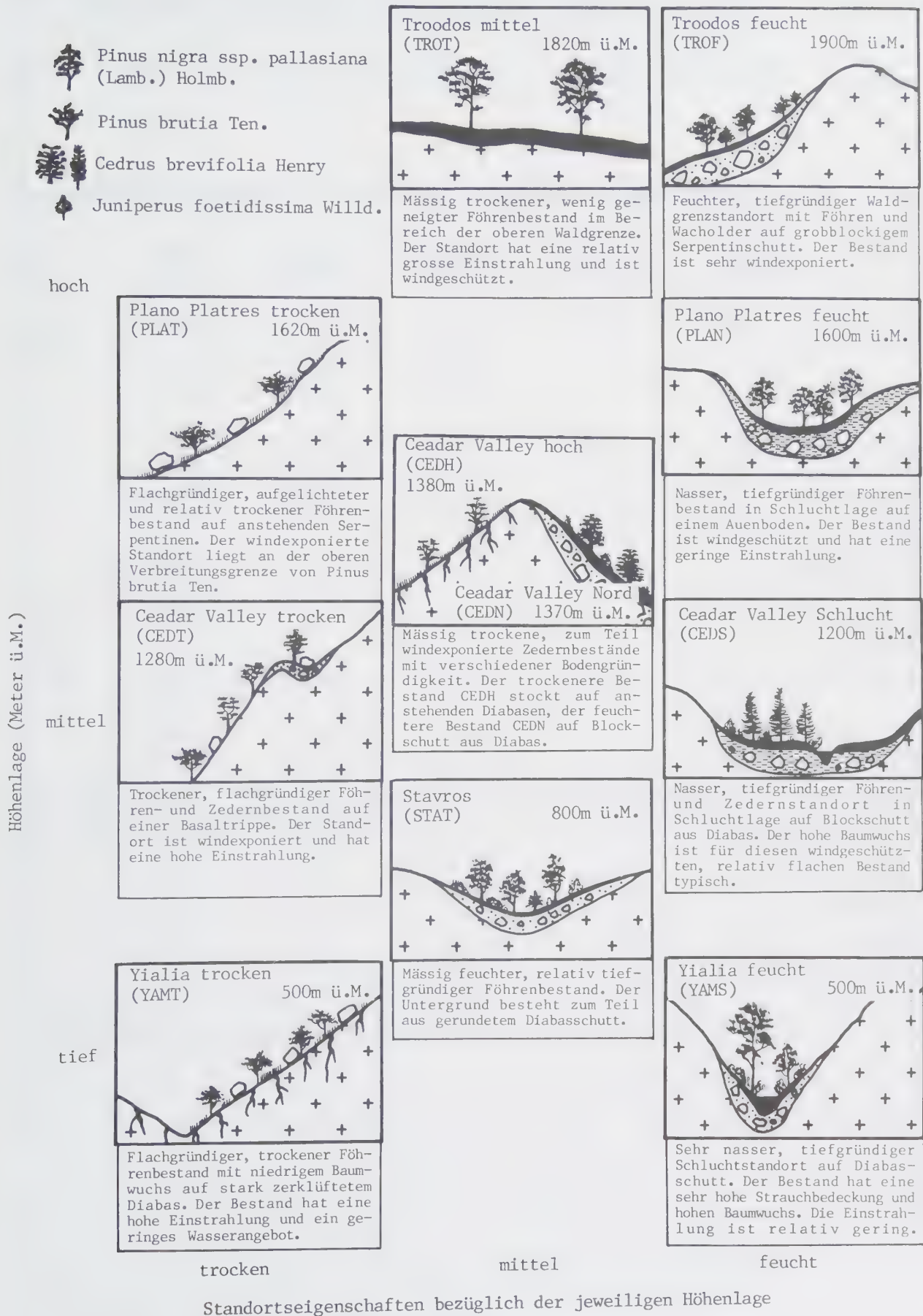


Abbildung 19: Dendroökologisches Diagramm der Probestflächen aus dem Troodosgebirge.



Standorts- bezeichnung	Yialia trocken (YAMT)	Yialia feucht (YAMS)	Stavros (STAT)	Cedar Valley trocken (CEDT)	Cedar Valley Nord (CEDN)
Probeentnahme	Mai 1982	Mai 1982	Mai 1982	Mai 1982	Mai 1982
Land	CY	CY	CY	CY	CY
Region	Troodosgebirge	Troodosgebirge	Troodosgebirge	Troodosgebirge	Troodosgebirge
Koordinaten	35°05' N 32°35' E	35°05' N 32°35' E	35°00' N 32°37' E	34°59' N 32°41' E	34°59' N 32°41' E
Höhenlage (Meter ü.M.)	500	500	800	1280	1370
Exposition	S	—	—	SW	N
Neigung (Winkel- grad)	30	Schlucht	Talboden	15	20
Baumbedeckung (Prozent)	50	40	75	20	75
Strauchbedeckung (Prozent)	—	100	50	75	15
Krautbedeckung (Prozent)	1	1	1	2	10
Baumhöhe (Meter)	bis 10	bis 30	bis 25	bis 10	bis 20
Strauchhöhe (Meter)	—	bis 2	bis 1,5	bis 3	bis 3
Untersuchte Baumarten	Pinus brutia Ten.	Pinus brutia Ten.	Pinus brutia Ten.	Cedrus brevi- folia Henry	Cedrus brevi- folia Henry
Anzahl der unter- suchten Bäume	12	10	12	12	11
Anzahl Bohrkerne pro Baum	2	2	2	2	2

Tabelle 5: Wichtige Eigenschaften der Probeflächen aus dem Troodosgebirge, Zypern.

Cedar Valley Schlucht (CEDS)	Cedar Valley hoch (CEDH)	Plano Platres feucht (PLAN)	Plano Platres trocken (PLAT)	Troodos mittel (TROT)	Troodos feucht (TROF)
Mai 1982	Mai 1982	Mai 1982	Mai 1982	Mai 1982	Mai 1982
CY	CY	CY	CY	CY	CY
Troodosgebirge	Troodosgebirge	Troodosgebirge	Troodosgebirge	Troodosgebirge	Troodosgebirge
34°59' N 32°41' E	34°59' N 32°41' E	34°54' N 32°54' E	34°54' N 32°54' E	34°56' N 32°52' E	34°56' N 32°52' E
1200	1380	1600	1620	1820	1900
—	SW	—	S	S	N
Schlucht	20	Talboden	15	5	20
80	75	25	15	25	60
10	65	80	60	—	60
100	1	100	2	1	2
bis 25	bis 8	bis 20	bis 9	bis 10	bis 12
bis 3	bis 3	bis 4	bis 2	—	bis 3
<i>Cedrus brevi- folia</i> Henry	<i>Cedrus brevi- folia</i> Henry	<i>Pinus nigra</i> ssp. <i>pallasiana</i> (Lamb.) Holmb.	<i>Pinus brutia</i> Ten.	<i>Pinus nigra</i> ssp. <i>pallasiana</i> (Lamb.) Holmb.	<i>Pinus nigra</i> ssp. <i>pallasiana</i> (Lamb.) Holmb.
13	11	12	13	12	12
2	2	2	2	2	2

Tabelle 5: (Fortsetzung)

3.2 Die untersuchten Baumarten

Das vorliegende Kapitel und die zugehörigen Abbildungen 20 bis 29 geben einen Ueberblick über die geographische Verbreitung der untersuchten Baumarten und deren Verwendung in der Jahrringanalyse. Die Nomenklatur stützt sich in den meisten Fällen auf die Publikation 'Flora Europaea' von HALLIDAY und BEADLE (1983).

3.2.1 Die Gattung Pinus L.

Die Gattung Pinus ist auf der nördlichen Halbkugel weit verbreitet. BAUCH (1975) gibt für die nördliche gemässigte Zone rund 100 Arten an. In Amerika und Asien stösst die Gattung weit gegen die tropische Zone vor.

Pinus sylvestris L.

Jahrringanalytische Verwendung: Die gemeine Kiefer wird in Europa und Nordasien bereits seit längerer Zeit für dendrochronologische Zwecke benutzt. Verschiedene langjährige Chronologien liegen heute vor (SIRÉN, 1961). In neuerer Zeit wird die Baumart auch radio-densitometrisch untersucht (SCHWEINGRUBER et al., 1979).

Holzanatomische Eigenschaften: Siehe SCHWEINGRUBER (1982).

MUNAUT (1982) erwähnt potentiell verwertbares Material, das vermutlich fossile Reihen bis zu 9000 b.p. erlaubt.

Holzanatomische Eigenschaften: Siehe GREGUSS (1955).



Abbildung 21: Geographische Verbreitung der vier Kleinarten von *Pinus nigra* Arnold (nach MEUSEL, 1965; WALTER, 1970; BAUCH, 1975).

- I : *Pinus nigra* ssp. *salzmannii* (Dunal) Franco
- II : *Pinus nigra* ssp. *laricio* (Poir.) Maire
- III: *Pinus nigra* ssp. *dalmatica* (Vis.) Franco
- IV : *Pinus nigra* ssp. *pallasiana* (Lamb.) Holmb.

P: Lage der Probestandorte

Pinus brutia Ten.



Abbildung 22: Geographische Verbreitung von *Pinus brutia* Ten. (nach WALTER, 1970).

P: Lage der Probestandorte

Die Baumart wird oft als eine Subspezies von *Pinus halepensis* Mill. aufgefasst. Gewisse Autoren meinen, dass sie entweder durch kaltzeitliche Arealzerstückelung entstanden ist oder sich bei der tertiären Gebirgsbildung als Gebirgsvarietät ausgebildet hat (WALTER, 1970; PONS, 1964).

Jahrringanalytische Verwendung: Die dendrochronologische Literatur über *Pinus brutia* Ten. ist sehr spärlich. Nach MUNAUT (1982) verfügt die Universität von Tel-Aviv über



Abbildung 20: Geographische Verbreitung von *Pinus sylvestris* L. (nach MEUSEL, 1965).

P: Lage der Probestandorte

Pinus nigra Arnold

Die vier Kleinarten von *Pinus nigra* Arnold sind vermutlich während der letzten Kaltzeiten durch Zerstückelung des ursprünglichen Areals entstanden (WALTER, 1970).

Jahrringanalytische Verwendung: Langjährige Chronologien von 300 bis 700 Jahren werden aus dem ostmediterranen Bereich beschrieben.

gewisse Chronologien. Publiziert sind die Resultate von TAMARI (1976), der an zypriotischem Material Jahrringbreitenmessungen ausführte. Aus der Literatur sind keine densitometrischen Untersuchungen der Baumart bekannt.

Holzanatomische Eigenschaften: Siehe GREGUSS (1972).

Pinus ponderosa Dougl.

Jahrringanalytische Verwendung: Die bereits von A.E. DOUGLASS mit Erfolg bearbeitete Baumart ist heute mit vielen langjährigen Chronologien in der Literatur dokumentiert und macht rund 20% aller dendrochronologisch bearbeiteten Standorte im westlichen Nordamerika aus (BRUBAKER, 1982). CLEAVELAND (1983) untersuchte die Baumart radiodensitometrisch.

Holzanatomische Eigenschaften: Siehe GREGUSS (1955).

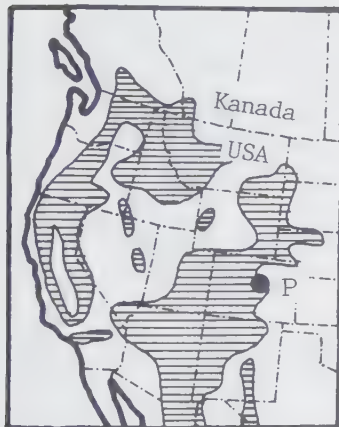


Abbildung 23: Geographische Verbreitung von *Pinus ponderosa* Dougl. (nach PRESTON, 1968).

P: Lage der Probestandorte

3.2.2 Die Gattung *Picea* A. Dietr.

Das Verbreitungsgebiet der Fichte umfasst die ganze nördliche Halbkugel. Die Höherenstreckung ist sehr variabel. Die Gattung wird in unterschiedlich viele Arten aufgeteilt. TSENG (1961) zit. in SCHMIDT-VOGT (1977) gibt eine Artenzahl von 46 an.

***Picea abies* (L.) Karst.**

Jahrringanalytische Verwendung: Die Art wird sowohl von der Jahrringbreite als auch von der maximalen Dichte her häufig und mit Erfolg für dendroklimatologische Studien benutzt.

Holzanatomische Eigenschaften: Siehe SCHWEIN-GRUBER (1982).

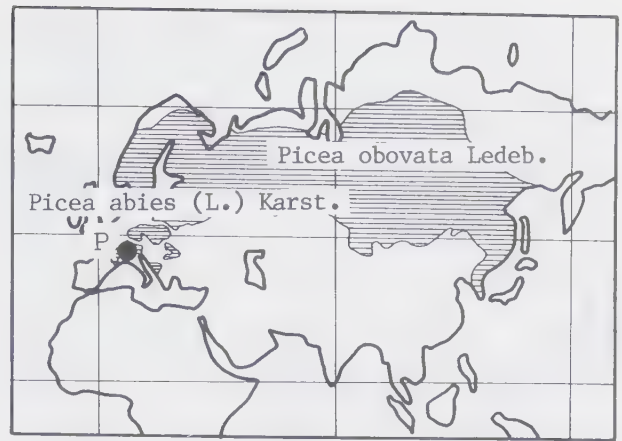


Abbildung 24: Geographische Verbreitung von *Picea abies* (L.) Karst. bzw. *Picea obovata* Ledeb., die nach BAUCH (1975) als Varietät der erstgenannten Art aufgefasst werden kann (nach MEUSEL, 1965).

P: Lage der Probestandorte

***Picea pungens* Engelm.**

Die in den Rocky Mountains beheimatete *Picea pungens* Engelm. bildet abgesehen von wenigen Ausnahmen keine geschlossenen Wälder. Einzig an Flussläufen bildet sie zusammenhängende Areale.

Die Holzart wird dendrochronologisch selten untersucht.

Holzanatomische Eigenschaften: Siehe GREGUSS (1955).

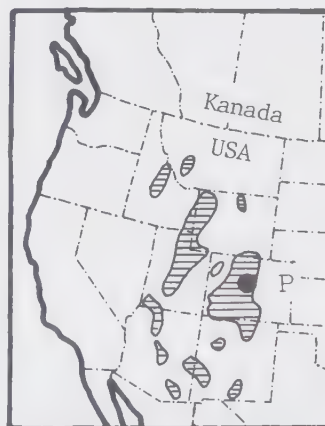


Abbildung 25: Geographische Verbreitung von *Picea pungens* Engelm. (nach PRESTON, 1968).

P: Lage der Probestandorte

***Picea engelmannii* Parry**

Die Engelmannsfichte besiedelt weite Gebiete im Norden Amerikas und bildet oft die obere Waldgrenze.

Jahrringanalytische Verwendung: Die dendrochronologisch selten verwendete Art wurde von PARKER und HENOCH (1971) mit Erfolg radiodensitometrisch untersucht und dendroklimatologisch interpretiert.

Holzanatomische Eigenschaften: Siehe GREGUSS (1955).

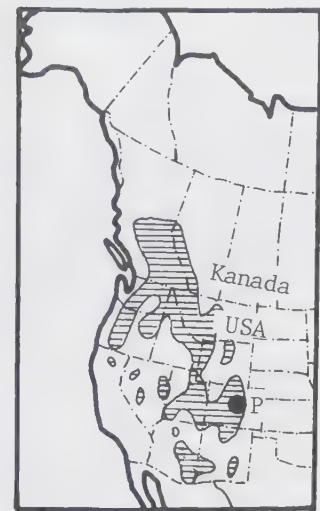


Abbildung 26: Geographische Verbreitung von *Picea engelmannii* Parry (nach PRESTON, 1968).

P: Lage der Probestandorte

3.2.3 Die Gattung *Abies* Mill.

Die Gattung *Abies* Mill. kommt ausschliesslich in der nördlichen gemässigten Zone vor. Das Artenspektrum reicht von ozeanischen, montan-collinen Arten (*Abies alba* Mill.) bis zu kontinental geprägten Arten (*Abies sibirica* Ledeb.) BAUCH (1975) unterscheidet rund 40 Arten.

Abies alba Mill.



Abbildung 27: Geographische Verbreitung von *Abies alba* Mill. (nach MEUSEL, 1965).

P: Lage der Probestandorte

Jahrringanalytische Verwendung: Die Holzart wird entsprechend ihrer geographischen Verbreitung hauptsächlich in Ost- und Südosteuropa sowie im Mittelmeerraum dendrochronologisch bearbeitet. LIBBY et al. (1976) verwendeten sie für $^{18}O/^{16}O$ -Untersuchungen. Die Art wird heute auch densitometrisch untersucht.

Holzanatomische Eigenschaften: Siehe SCHWEINGRUBER (1982).

3.2.4 Die Gattung *Cedrus* Trew

Das Verbreitungsgebiet der Gattung *Cedrus* Trew ist ein Beispiel für ein disjunktes Areal (SCHMIDT, 1969; WALTER, 1970). Bis ins Tertiär verlief die Entwicklung der Gattung einheitlich. Heute liegen fünf Reliktareale vor. Im Altertum waren die Zedernbestände grösser als heute. Das vorzügliche Bauholz wurde aber seit der Antike rücksichtslos ausgebeutet, so dass heute nur noch wenige zusammenhängende Waldgebiete zu finden sind (RIKLI, 1943, 1946).

Jahrringanalytische Verwendung: Die dendrochronologische Verwendung der Gattung beschränkt sich auf relativ wenige Standorte. Die dendroklimatologische Interpretation von Zedernchronologien kann problematisch sein, da die zurückgedrängte Gattung ökologische Nischen mit sehr speziellen Standortseigenschaften besiedelt. Die lokalklimatischen Einflüsse können deshalb den regionalklimatischen Informationsgehalt reduzieren (MUNAUT, 1982).

Holzanatomische Eigenschaften: Siehe GREGUSS (1955).



Abbildung 28: Geographische Verbreitung der Gattung *Cedrus* Trew zwischen Atlas und Himalaya (nach SCHWARZ zit. in SCHMIDT, 1969; RIKLI, 1943, 1946).

- I : *Cedrus atlantica* (Endl.) Carr.
- II : *Cedrus stenocoma*
- III: *Cedrus brevifolia* Henry
- IV : *Cedrus libani* A. Rich.
- V : *Cedrus deodara* (D.Don) G.Don. fil.

P: Lage der Probestandorte

3.2.5 Die Gattung *Pseudotsuga* Carr.

Die Gattung *Pseudotsuga* ist in Nordamerika sehr weit verbreitet. In der vorliegenden Arbeit wurde *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco untersucht.

***Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco**

Jahrringanalytische Verwendung: Die Holzart wird dendrochronologisch sehr häufig verwendet und macht über einen Drittel aller untersuchten Standorte im westlichen Nordamerika aus (BRUBAKER, 1982).

Holzanatomische Eigenschaften: Siehe WAGENFUEHR (1980).

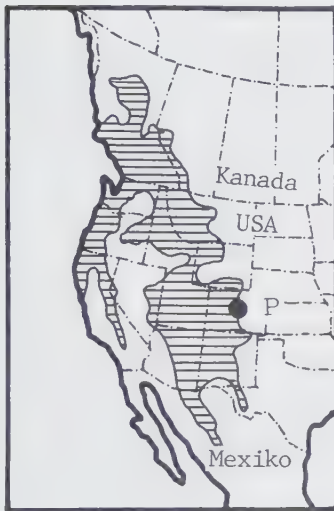


Abbildung 29: Geographische Verbreitung von *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco (nach HARLOW und HARRAR, 1968, zit. in BAUCH, 1975).

P: Lage der Probestandorte

3.3 Radiodensitometrische Eigenschaften der untersuchten Baumarten

Im vorliegenden Kapitel werden die densitometrischen Eigenschaften der untersuchten Baumarten untereinander verglichen. Zu diesem Zweck erfolgt in der Abbildung 30 eine Gegenüberstellung gleich skalierten Densitogramme.

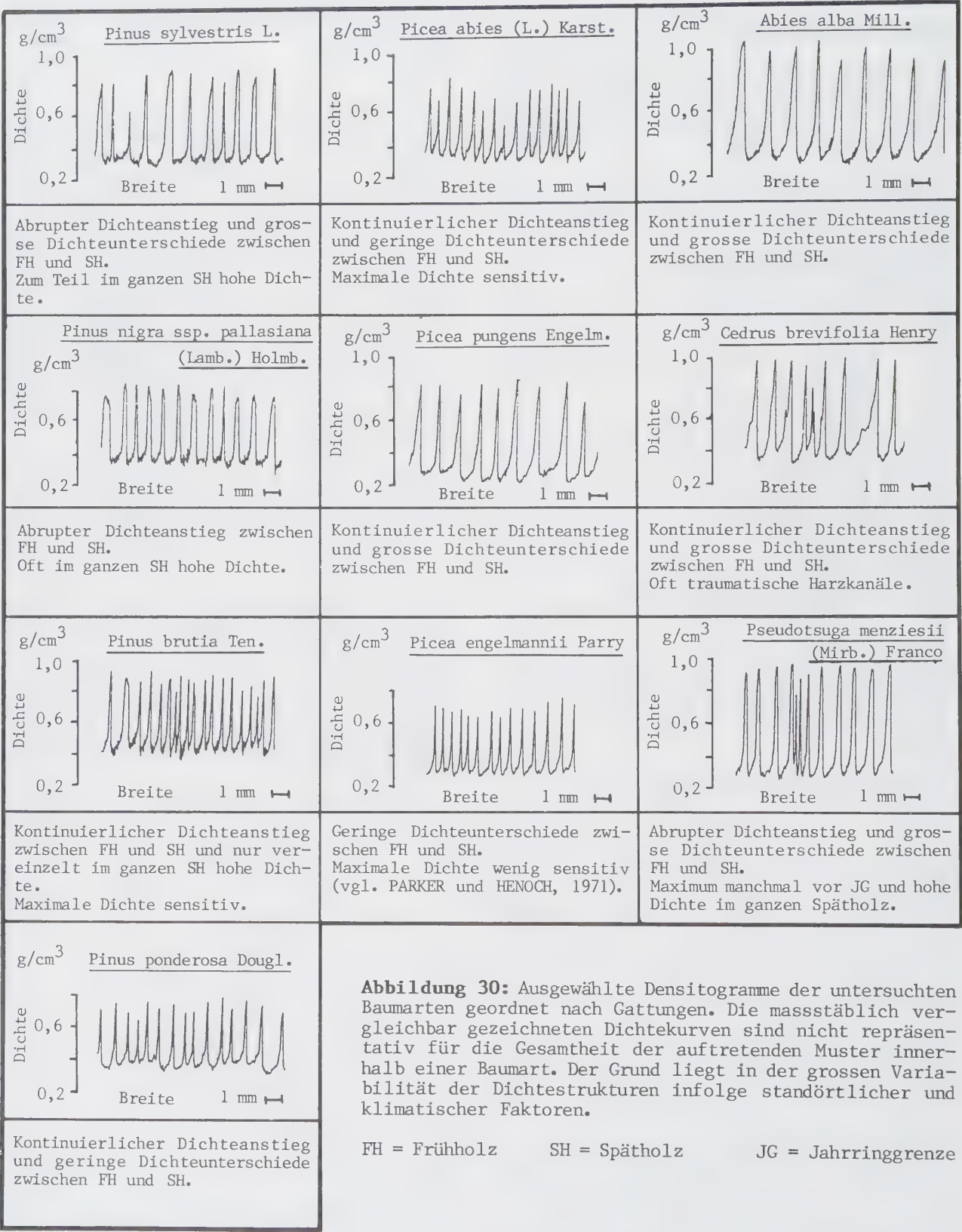
Es ist schwierig, für jede Baumart ein repräsentatives Dichtemuster auszuwählen, da standörtliche und klimatische Faktoren den Dichteverlauf stark beeinflussen. So verhalten sich zum Beispiel die Dichtestrukturen bestimmter Holzarten an trockenen Standorten anders als in feuchten Lagen. Ferner können innerhalb einer Jahrringsequenz grosse Unterschiede zwischen trockenen und feuchten Perioden bestehen. Aus diesen Gründen ist die vorliegende Zusammenstellung unvollständig. Die Aussagen gelten für das betreffende Dichtediagramm und sind nicht repräsentativ für die Gesamtheit der auftretenden Dichtemuster innerhalb einer Holzart. Einige allgemeine Tendenzen, die im Einzelfall oft nicht zutreffen, können angegeben werden:

Gattungen *Pinus* L. und *Pseudotsuga* Carr.:

- Dichtemaxima oft vor dem Jahrringabschluss, besonders in feuchten Jahren oder an feuchten Standorten.
- Zum Teil praktisch gleich hohe Dichte im ganzen Spätholzbereich und abrupter Dichteanstieg zwischen Frühholz und Spätholz.

Gattungen *Picea* A. Dietr., *Cedrus* Trew, *Abies* Mill.:

- Dichtemaxima meistens unmittelbar vor der Jahrringgrenze.
- Oft kontinuierlicher Dichteanstieg zwischen Frühholz und Spätholz.



4 Basisdaten

4.1 Klimamessreihen

Der Vergleich zwischen der Witterung und dem Jahrringwachstum erfolgte mit den Klimadaten verschiedener Klimastationen. In der Tabelle 6 liegt ein Verzeichnis der verwendeten Stationen vor. Die Homogenität der Niederschlagsdaten wurde mit Hilfe der Doppelsummenanalyse geprüft (KÖHLER, 1949; CHANG und LEE, 1974). Bei den Temperaturmessreihen fand die Methode der kumulativen Temperaturdifferenzen zweier Stationen Verwendung (FRITTS, 1976). Beide Klimaparameter wurden auf Grund der Jahressummen und -mittel sowie der Quartalsummen und -mittel getestet. Die Messreihe von Sitten zeigt nach 1977 eine markante Inhomogenität, die auf einen Standortswechsel zurückzuführen ist. Die Daten wurden nach 1977 nicht mehr für multivariate Analysen verwendet. Alle anderen Stationen, die in der Tabelle 6 angegeben sind, können innerhalb ihrer Region als homogen angesprochen werden.

4.2 Evapotranspirationsberechnungen

Um die Beziehungen zwischen der Witterung und dem Jahrringwachstum herzuleiten, werden heute hauptsächlich die Temperaturen und die Niederschläge sowie verschiedene Ariditätsindizes als meteorologische Eingangsgrößen verwendet (FRITTS, 1976). Die vorliegende Studie verfolgt unter anderem das Ziel, die klimatologische und ökologische Interpretierbarkeit von Jahrringchronologien mit Hilfe von Evapotranspirationsberechnungen zu verbessern. Man geht dabei von der Hypothese aus, dass die Evapotranspiration die Witterungsbedingungen biologisch relevanter ausdrückt als die Temperaturen und die Niederschläge allein.

Die Evapotranspiration oder auch Gesamtverdunstung einer bewachsenen Oberfläche setzt sich zusammen aus der Evaporation (inkl. Interzeption) und der Transpiration. Man unterscheidet zwei Arten der Evapotranspiration, nämlich die potentielle Evapotranspiration als Gesamtverdunstung einer bewachsenen Oberfläche bei dauernder Wassersättigung des Bodens und die aktuelle Evapotranspiration als Gesamtverdunstung einer bewachsenen Ober-

fläche ohne dauernde Wassersättigung des Bodens (CALAME und SIEBENTHAL, 1977). Letztere liegt vor allem in Trockenperioden weit unter der potentiellen Evapotranspiration, da die Pflanze ihre Transpiration mit zunehmendem Wasserstress durch das Schliessen der Spaltöffnungen einschränkt (ITEM, 1981).

4.2.1 Die Berechnung der potentiellen Evapotranspiration

In der vorliegenden Arbeit wurde die potentielle Evapotranspiration mit Hilfe verschiedenster empirischer Formeln geschätzt. In der Tabelle 7 sind die verwendeten Methoden mit ihren Autoren, den erforderlichen meteorologischen Eingangsgrößen und dem Gebiet in welchem sie entwickelt oder angewendet wurden, angegeben.

Formeln und Eingangsgrößen. Die meisten erforderlichen meteorologischen Messgrößen konnten der Datenbank der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt (SMA) entnommen und mittels EDV verarbeitet werden. Als Klimastation diente die Station Sitten während der Jahre 1901 - 1977. Die Daten über die potentielle Sonneneinstrahlung wurden der Publikation von FRANK und LEE (1966) entnommen. Mit Hilfe der täglichen Angabe über die Sonnenscheindauer und der Absorptionsgleichung nach TANNER und PELTON (1960) wurde die effektive tägliche Sonneneinstrahlung ohne Horizontlinie für vier verschiedene Expositionen und Neigungen geschätzt.

Anschliessend wurde die potentielle Evapotranspiration auf täglicher Basis berechnet. In der Abbildung 31 ist der Evapotranspirationsverlauf für das Jahr 1904 beispielhaft dargestellt. Den deutlich sensitivsten Verlauf weisen die Formeln nach PRIMAULT und CHRISTIANSEN auf. Wenig sensitiv sind die Berechnungen nach THORNTHWAITE, BLANEY und CRIDDLE sowie HAMON, die sich lediglich auf den Klimaparameter Temperatur und zum Teil auf die Tageslänge stützen. Die Formeln nach GRASSI, STEPHENS und STEWART, TURC, JENSEN und HAISE, CHRISTIANSEN und PENMAN weisen hohe Gleichläufigkeiten auf, da bei diesen Berechnungen die Strahlung ein gemeinsames, prägendes Klimaelement ist.

Region/Station	Höhe ü.M. (Quelle)	Zeitperiode	Klimaelemente	Mittelwerte	Quellen
Schweiz:					
Sitten	542 m (1)	1874 - 1900 1901 - 1977	Temperatur, Niederschlag Temperatur, Niederschlag, Luftdruck, Wind, Bewölkung, Luftfeuchtigkeit, Sonnen- scheindauer, Verdunstung	monatlich täglich, monatlich	2 1
Sitten (Flug- platz)	483 m (1)	1978 - 1982	Temperatur, Niederschlag, Luftdruck, Wind, Bewölkung, Luftfeuchtigkeit, Sonnen- scheindauer, Verdunstung	täglich, monatlich	1
Bern	570 m (1)	1901 - 1982	Temperatur, Niederschlag, Luftdruck, Wind, Bewölkung, Luftfeuchtigkeit, Sonnen- scheindauer, Verdunstung	täglich, monatlich	1
Mont Soleil	1180 m (1)	1901 - 1982	Temperatur, Niederschlag, Luftdruck, Wind, Bewölkung, Luftfeuchtigkeit, Sonnen- scheindauer, Verdunstung	täglich, monatlich	1
Oestliches Mittelmeer:					
Nicosia (Zypern)	220 m (5)	1900 - 1974	Temperatur, Niederschlag	monatlich	3,4
Mt. Olympus (Zypern)	1936 m (5)	1961 - 1971	Temperatur, Niederschlag, Wind	monatlich	5
Ksara (Libanon)	918 m (4)	1921 - 1960	Temperatur, Niederschlag	monatlich	4
Jerusalem (Israel)	810 m (4)	1861 - 1970	Temperatur, Niederschlag	monatlich	4
USA, Colorado:					
Denver	1589 m (6)	1873 - 1982	Temperatur, Niederschlag	monatlich	4,6,7
Como	3048 m (8)	1952 - 1982	Temperatur, Niederschlag	monatlich	8
Niwot Ridge	3750 m (8)	1952 - 1982	Temperatur, Niederschlag	monatlich	8
(1) Datenbank der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt, Zürich. (2) Schweizerische Meteorologische Zentralanstalt, Zürich: Annalen 1874 - 1900. (3) Cyprus Meteorological Office, Nicosia: Meteorological Observations. (4) US Department of Commerce, Washington: World Weather Records. (5) MCGINNIGLE (1971, 1972). (6) US Department of Agriculture: Summary of the climatological data for the US by sections. (7) National Oceanic and Atmospheric Administration, Asheville: Monthly climatic data for the world. (8) Datenbank des Institute of Arctic and Alpine Research, University of Colorado, Boulder.					

Tabelle 6: Verzeichnis der verwendeten Klimastationen und Klimaelemente.

Formel und interne Identifikationsnummer		Meteorologische Eingangsgrößen						Quellen	Bemerkungen
		I	II	III	IV	V	VI		
THORNTHWAITE	1	x						MC GUINNESS und BORDNE (1972) PALMER und HAVENS (1958)	Einfache, grobe Schätzung.
PRIMAULT	2		x		x			PRIMAULT (1962) CALAME und STEBENTHAL (1977)	Einfache Schätzung. Anwendung in CH.
BLANEY und CRIDDLE	3	x		x				BLANEY und CRIDDLE (1962) MC GUINNESS und BORDNE (1972)	Landwirtschaftl. Bewässerung im Osten der USA.
HAMON	4	x		x				HAMON (1966) MC GUINNESS und BORDNE (1972)	Angewendet im Norden der USA.
GRASSI	5	x				x		GRASSI (1964) MC GUINNESS und BORDNE (1972)	Entwickelt für semiaride Gebiete der USA.
STEPHENS und STEWART	6	x				x		STEPHENS und STEWART (1963) MC GUINNESS und BORDNE (1972)	Entwickelt für subtropische Gebiete der USA.
TURC	7	x				x		TURC (1961) ITEM (1974)	Angewendet in Nord- und Zentralafrika.
JENSEN und HAISE	8	x				x		JENSEN und HAISE (1963) MC GUINNESS und BORDNE (1972)	Entwickelt für semiaride Gebiete der USA.
CHRISTIANSEN	9	x	x		x	x	x	CHRISTIANSEN (1968) MC GUINNESS und BORDNE (1972)	Entwickelt für semiaride Gebiete der USA.
PENMAN	10	x	x		x	x	x	ITEM (1974, 1981)	Genaue Formel. In der CH angewendet.

Tabelle 7: Verwendete Formeln der potentiellen Evapotranspiration mit den erforderlichen meteorologischen Eingangsgrößen (I: Lufttemperatur, II: Sonnenscheindauer, III: Potentielle Tageslänge, IV: Absolute oder relative Feuchtigkeit, V: Strahlung, VI: Wind).

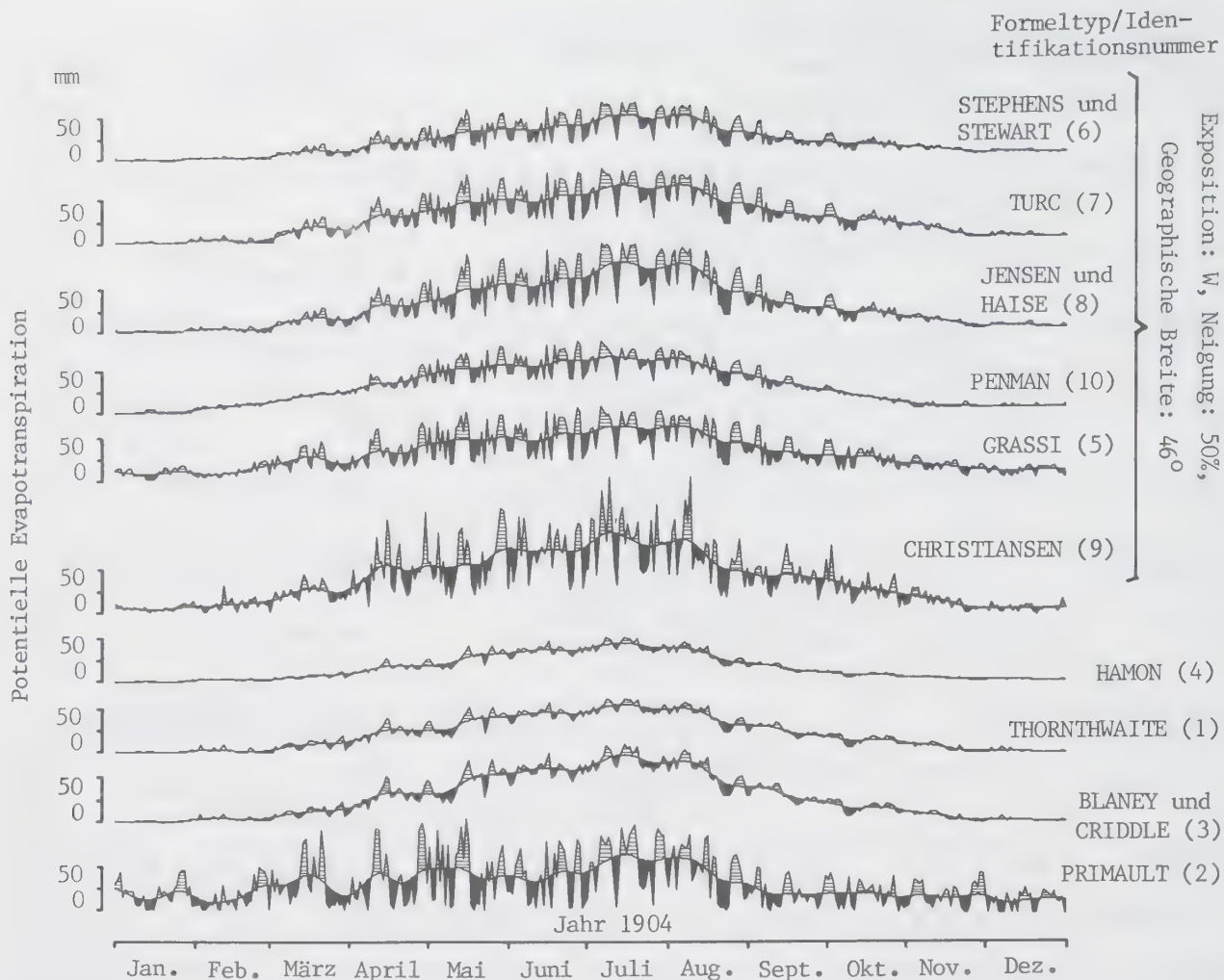


Abbildung 31: Tägliche Werte der potentiellen Evapotranspiration der Klimastation Sitten im Jahr 1904. Die verschiedenen empirischen Evapotranspirationsformeln gliedern sich klar in einzelne Gruppen. Die hohen Gleichläufigkeiten innerhalb der Gruppen sind auf gemeinsame prägende Einflussgrößen zurückzuführen, wie beispielsweise die Strahlung oder die Temperatur.

Ueberdurchschnittliche Werte
 Unterdurchschnittliche Werte
 bezüglich der geglätteten Daten (Lowpass-Filter, 31 Tage)

Vergleich verschiedener Formeln. Je nach Formeltyp ergeben sich in ein und demselben Jahr unterschiedliche Jahressummen der potentiellen Evapotranspiration (Abbildung 32). Dies hängt mit den diversen Berechnungsarten der Formeln zusammen. Mit Hilfe von Lysimetermessungen müsste im Untersuchungsgebiet geprüft werden, welche Methode die tatsächlich gemessene potentielle Evapotranspiration der Klimastation am besten annähert. In der vorliegenden Studie wurde auf diese Prüfung verzichtet, da bei Jahrringmodellierungen hauptsächlich die relativen jährlichen Schwankungen der Werte innerhalb einer länge-

ren Zeitperiode von Interesse sind. Solche Schwankungen treten bei allen berücksichtigten Formeln auf und sind die Folge des unterschiedlichen Witterungsverlaufes verschiedener Jahre. Die Abbildung 32 bestätigt diese Aussage, indem die Werte verschiedener Evapotranspirationsformeln in zwei klimatisch extremen Jahren miteinander verglichen werden. Die kalte Sommer- und Herbstwitterung des Jahres 1912 wirkt sich bei praktisch allen Formeln in einer starken Reduktion der potentiellen Evapotranspiration aus, während das warme, trockene Jahr 1921 zu allgemein hohen Werten führt.

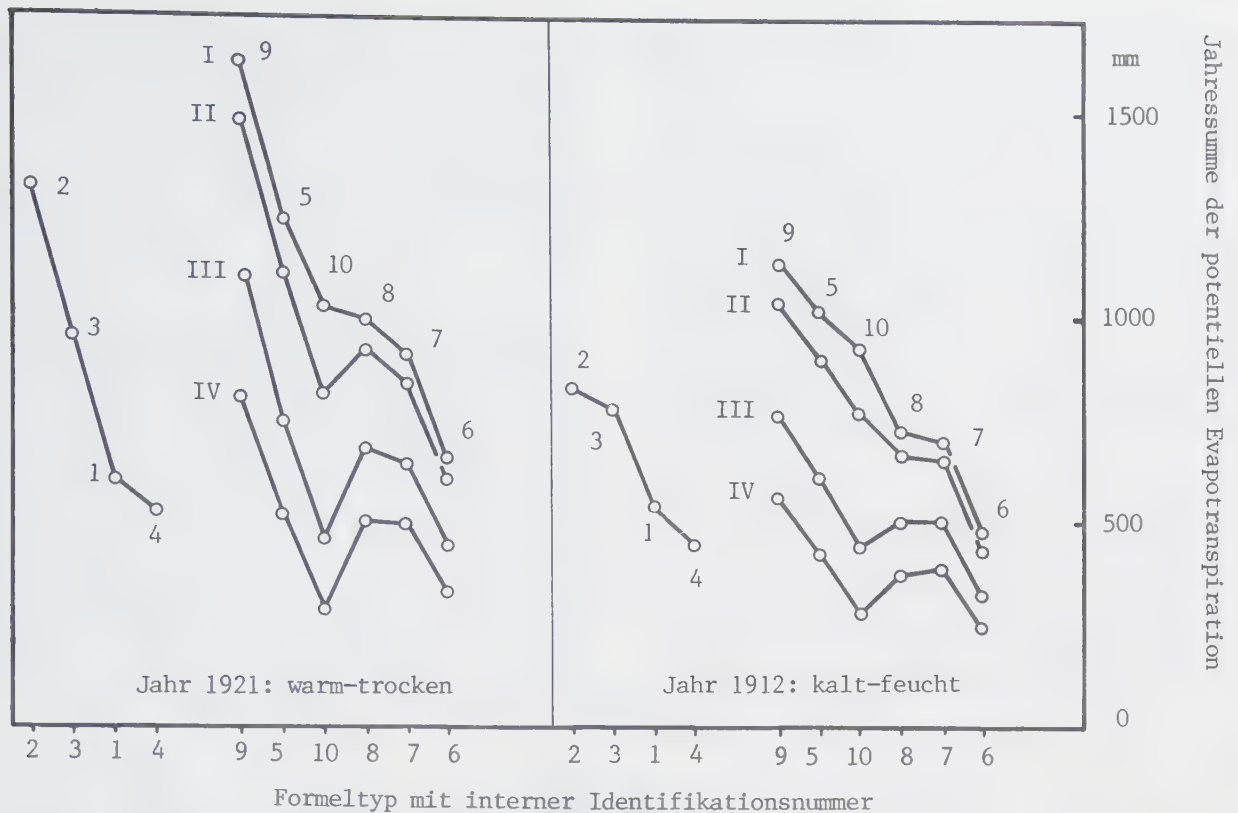


Abbildung 32: Jahressummen der potentiellen Evapotranspiration nach verschiedenen empirischen Formeln in klimatisch unterschiedlichen Jahren: THORNTHWAITE (1), PRIMAULT (2), BLANEY und CRIDDLE (3), HAMON (4), GRASSI (5), STEPHENS und STEWART (6), TURC (7), JENSEN und HAISE (8), CHRISTIANSEN (9), PENMAN (10). Geht die Strahlung als unabhängiger Parameter in die Berechnung ein, so sind die Werte der potentiellen Evapotranspiration für vier verschiedene Expositionen und Neigungen dargestellt:

- I : Exp. WSW, Neig. 70%
- II : Exp. W, Neig. 50%
- III: Exp. NW, Neig. 60%
- IV : Exp. NNE, Neig. 80%

Die verschiedenen Formeln weisen in ein und demselben Jahr unterschiedliche Jahressummen auf, was auf die unterschiedlichen Berechnungsarten zurückzuführen ist. Das Trockenjahr 1921 unterscheidet sich aber in praktisch jedem Formeltyp vom kalten Jahr 1912.

4.2.2 Die Berechnung der aktuellen Evapotranspiration

Bei der Berechnung der potentiellen Evapotranspiration werden die Niederschläge definitionsgemäss nicht berücksichtigt. Gerade für Wälder an Trockenstandorten ist aber dieser Parameter ein wichtiger wachstumslimitierender Faktor und sollte in die Modellierungen einfließen.

Mit dem Wasserhaushaltsmodell von ITEM (1974, 1981) ist es möglich, den Einfluss der Wasserversorgung auf die Evapotranspiration zu simulieren und die aktuelle Transpiration in Abhängigkeit von der potentiellen Transpiration und dem Wassergehalt im Wurzelraum zu berechnen. Die Arcustangensfunktion nähert dabei die Beziehungen zwischen der aktuellen

Transpiration und dem Bodenwassergehalt am besten an (Abbildung 33). Bei den vorliegenden Berechnungen ist der Wassergehalt des Wurzelraumes unbekannt. Deshalb wurde modellhaft angenommen, dass der Boden ein abgeschlossener Wasserspeicher darstellt, dem Wasser zugeführt und entzogen wird. Die Tagesniederschläge machen den wichtigsten wasserzuführenden Anteil aus. Sie wurden in eine den Boden nicht erreichende Menge (oberflächlicher Abfluss, Evaporation) und in eine den Boden erreichende Menge aufgeteilt. Der wichtigste wasserentziehende Faktor ist die aktuelle Transpiration, die ihrerseits von der potentiellen Transpiration und dem Wassergehalt im Wurzelraum abhängig ist. Die Tiefensickerung blieb bei den vorliegenden Berechnungen unberücksichtigt. Ferner gelten folgende Bedingungen:

- (1) Potentielle Evaporation von Interzeptionswasser = Niederschlag, höchstens potentielle Evapotranspiration
- (2) Potentielle Transpiration = Potentielle Evapotranspiration - potentielle Evaporation
- (3) Aktuelle Transpiration = Funktion von potentieller Transpiration und Wassergehalt im Wurzelraum (Abbildung 33)
- (4) Aktuelle Evapotranspiration = Aktuelle Transpiration + potentielle Evaporation

Nebst den erwähnten Bedingungen sieht das Modell von ITEM (1974, 1981) frei zu wählende Modellparameter vor. Diese wurden in den vorliegenden Untersuchungen so bestimmt, dass das während rund 75 Jahren zu berechnende Simulationsmodell nie aus dem Gleichgewicht

geriet. Da ferner keine Bodenwassergehaltsmessungen vorlagen, wurde der Anfangswassergehalt im Boden gutachtlich festgelegt.

In der Abbildung 33 sind die Resultate der am häufigsten verwendeten Parameterkonstellation dargestellt. Wichtig ist, dass die täglich berechneten Bodenwassergehalte zwischen 1901 und 1977 möglichst in den Bereich des steilsten Kurvenabfalls der Arcustangensfunktion zu liegen kommen, so dass sich feuchte und trockene Perioden optimal unterscheiden lassen. Am Beispiel zweier Jahre mit extrem verschiedenen Witterungsbedingungen (1921: extremes Trockenjahr, 1927: sehr feuchtes Jahr) kann die Differenzierung gezeigt werden. Die simulierten Bodenwassergehalte der beiden Jahre sind als Häufigkeitsdiagramme aufgezeichnet. Sie unterscheiden sich in ihrer Lage signifikant voneinander. Im Trockenjahr 1921 sind die Bodenwassergehalte mehrheitlich tief und liegen im unteren Bereich des steilsten Abfalls der Arcustangensfunktion. Dadurch wird die aktuelle Transpiration häufig eingeschränkt. Im feuchten Jahr

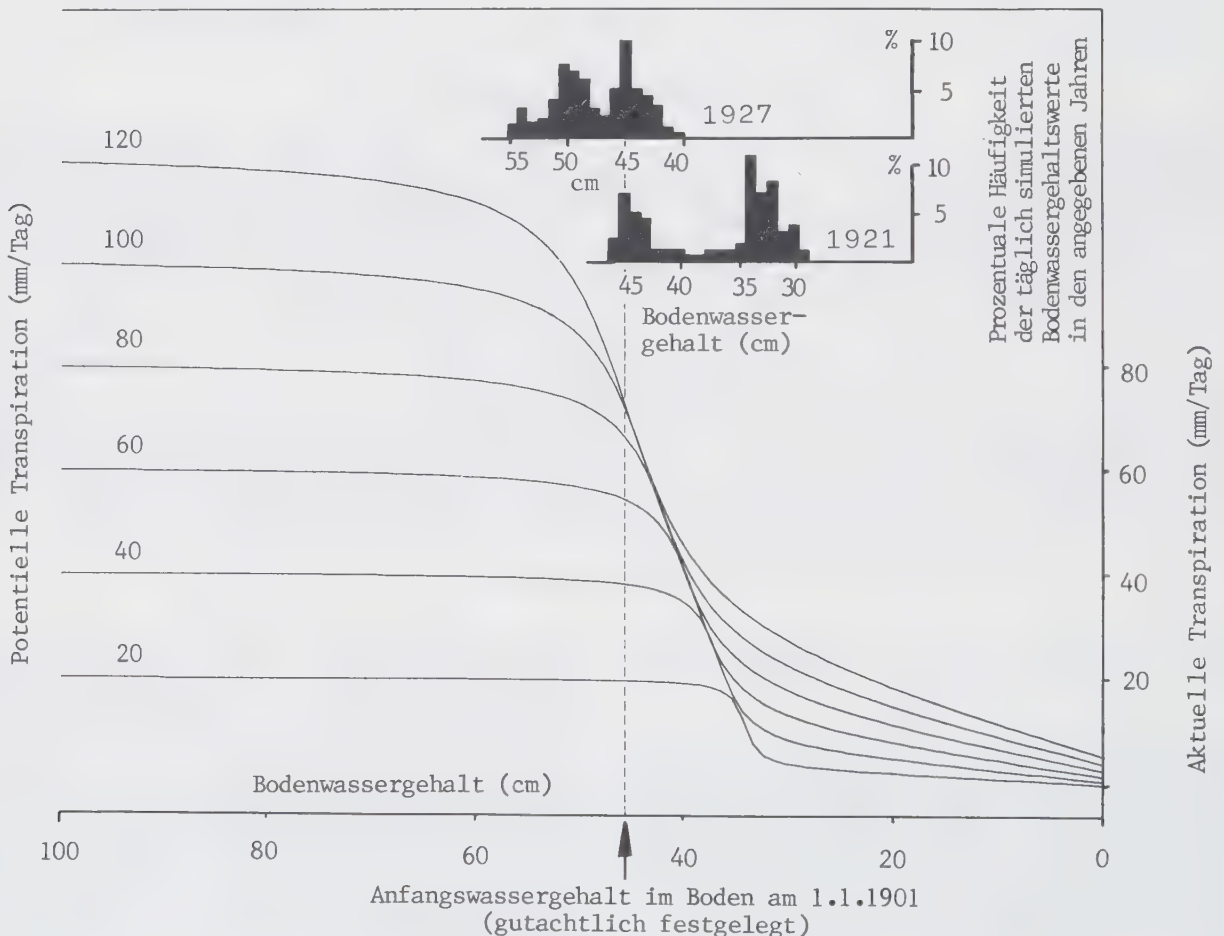


Abbildung 33: Abhängigkeit der aktuellen Transpiration von der potentiellen Transpiration und vom Bodenwassergehalt. Das Diagramm veranschaulicht die Beziehungen für verschiedene Werte der potentiellen Transpiration. Die Arcustangensfunktion eignet sich am besten für die Modellierung. Von den beiden Jahren 1921 und 1927 sind die Häufigkeitsverteilungen der simulierten Wassergehalte beispielhaft dargestellt. Sie zeigen, dass sich die beiden klimatisch sehr unterschiedlichen Jahre (1921: extrem trocken, 1927: sehr feucht) mit Hilfe der vorliegenden Simulation gut voneinander trennen lassen (nach ITEM, 1981).

1927 sind die Verhältnisse umgekehrt. Die häufig hohen Bodenwassergehalte bewirken, dass sich die aktuelle Transpiration oft der potentiellen Transpiration annähert.

Auf Grund des beschriebenen Modellansatzes wurde die aktuelle Evapotranspiration während der Periode von 1901 - 1977 auf täglicher Basis berechnet.

4.2.3 Witterungs- und Evapotranspirationsverlauf der Klimastation Sitten

Die täglichen Transpirations-, Temperatur- und Niederschlagsdaten der Klimastation Sitten wurden zu Dekaden zusammengefasst und

während der Zeitperiode von 1901 - 1977 graphisch dargestellt. Das Vorgehen erlaubte eine genaue Witterungsanalyse der Einzeljahre. Als Auszug liegt in der Abbildung 34 eine typische Fünfjahresperiode vor. Durch die Endlossimulation des Bodenwassergehaltes über das jeweilige Jahresende hinaus, war es möglich, Vorjahreseinflüsse zu erfassen. So vermochten zum Beispiel die starken Niederschläge im Dezember 1918 den Bodenwassergehalt während des Jahres 1919 lange hoch zu halten und die spätsommerliche Trockenheit auszugleichen. Anders verhält sich das Trockenjahr 1921. Die winterliche Trockenheit in den Jahren 1920/21, und das vom Wassergehalt her bereits unterdurchschnittlich verlaufende Jahr 1920 führten dazu, dass sich der simulierte Wasserspeicher 1921 nicht auffüllen konnte. Die aktuelle Transpiration wurde da-

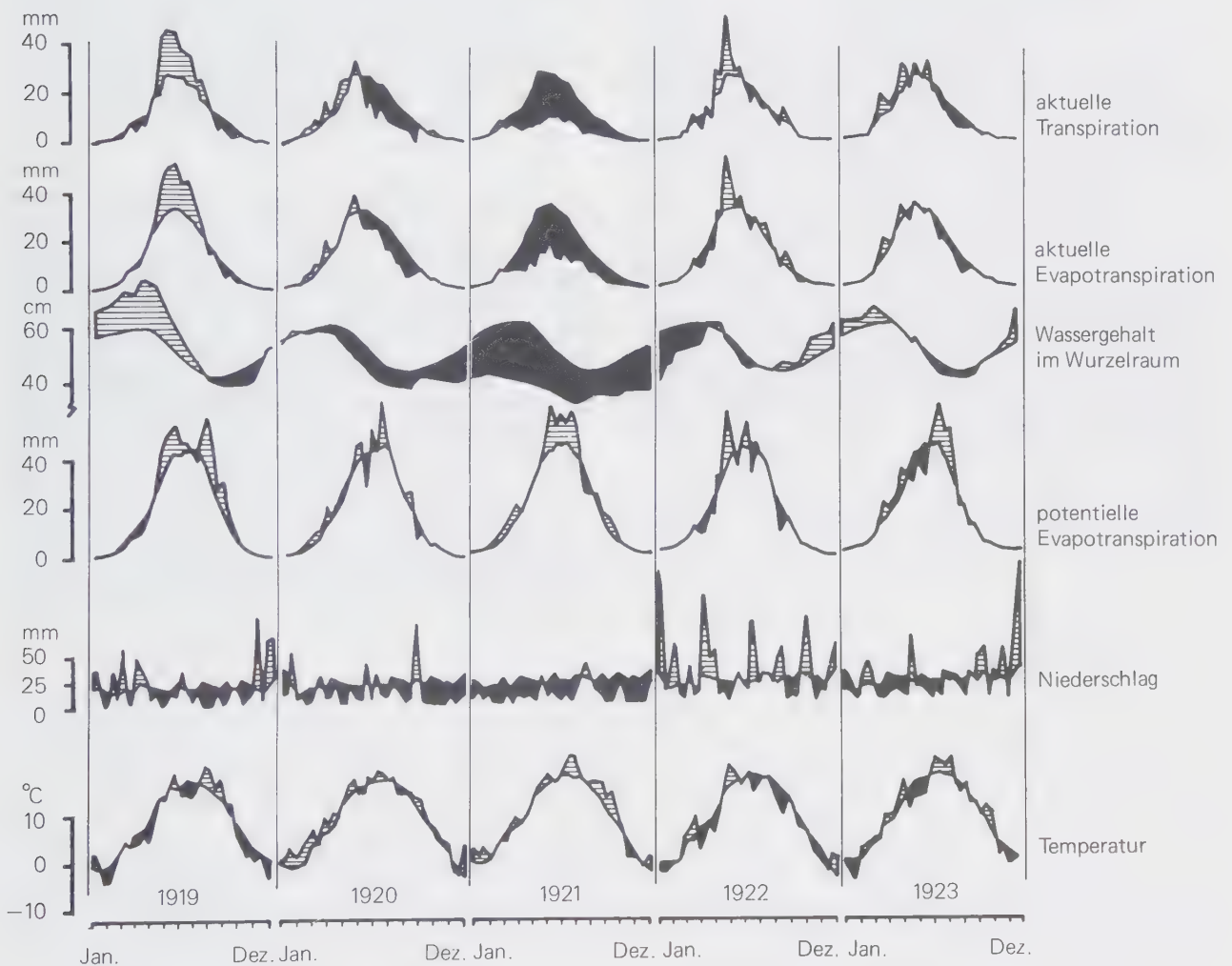


Abbildung 34: Witterungsverlauf der Klimastation Sitten während der Jahre 1919 bis 1923. Zur Darstellung gelangen die Klimaelemente Temperatur und Niederschlag sowie die berechneten Werte der Evapotranspiration und des Wassergehaltes im Wurzelraum (Dekadenmittel bzw. -summen, Evapotranspirationsformel nach CHRISTIANSEN, 1968). Die typische Trockenperiode anfangs der zwanziger Jahre zeigt sich besonders deutlich in den tiefen Werten der aktuellen Transpiration und Evapotranspiration sowie im Wassergehalt des Wurzelraumes (simuliert).

▨ Ueberdurchschnittliche Werte ■ Unterdurchschnittliche Werte

bezüglich langjährigem Mittel (1901 - 1977)

durch bereits in den Frühjahrsmonaten stark eingeschränkt, und wegen anhaltender Trockenheit blieb der Wassergehalt im Wurzelraum weiterhin tief. Erst die kräftigeren Niederschläge im Frühjahr 1922 vermochten das Wasserreservoir wieder aufzufüllen und die Stressperiode zu beenden.

4.3 Jahrringchronologien

Nach der densitometrischen Aufnahme wurden die Einzelkurven synchronisiert. Es zeigte sich, dass die Synchronisation im Uebergangsbereich zwischen den beiden Extremstandorten (feuchter, oberer Waldgrenzstandort und trockene Tieflage) stark vereinfacht wird, wenn mehrere Jahrringparameter zur Verfügung stehen. Mehrheitlich niederschlagssensitive Standortchronologien konnten eher mit den Breitenparametern, mehrheitlich temperatursensitive Standortchronologien eher mit der maximalen Dichte synchronisiert werden. Auskeilende oder fehlende Jahrringe traten hauptsächlich in Tieflagen auf. Sie waren beim vorliegenden Datenmaterial eher selten und konnten dank der hohen Standortsdichte der Versuchsanlage erkannt werden.

Nach der Synchronisation erfolgte die Berechnung der Basis- und Chronologiestatistik sowie die Qualitätsansprache der Chronologien. Im Anhang (Tabellen 12 bis 15) sind die wichtigsten statistischen Kenngrößen wiedergegeben. Ferner wurden die Jahrringsequenzen graphisch dargestellt und der Kurvenverlauf optisch verglichen.

Alle Resultate sind unter der Voraussetzung zu interpretieren, dass die Jahrringchronologien verschiedener Holzarten miteinander verglichen wurden.

4.3.1 Dendroklimatologische Qualitätsansprache

Die Methodenwahl für die Qualitätsansprache von Jahrringchronologien wird stark von der wissenschaftlichen Zielsetzung beeinflusst. Bei dendroklimatologischen Problemstellungen gilt eine Chronologie als geeignet, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind (nach PARKER und HENOCK, 1971):

- (1) Möglichst grosse Werte der Sensitivität und der Streuung.
- (2) Möglichst grosse Werte der Gleichläufigkeiten und der Kreuzkorrelationen innerhalb der Einzelbäume.
- (3) Möglichst kleine Autokorrelation.
- (4) Möglichst klare statistische Beziehungen zu gewissen Klimaelementen und grosser Erklärungsgrad der Varianz.

Die Standortchronologien der maximalen Dichte und der Jahrringbreite wurden auf Grund der Bedingungen 1 bis 3 beurteilt. Die entsprechenden Qualitätsangaben sind in den Abbildungen 35 und 36 zusammen mit den Mittelkurven dargestellt. Sie erlauben Aussagen über die relative Qualität einer Chronologie innerhalb der berücksichtigten Messreihen des entsprechenden Jahrringparameters. Sowohl bei der maximalen Dichte als auch bei der Jahr-

ringbreite ist die Qualität der Chronologien stark von der Höhenlage abhängig. Bei der maximalen Dichte sind die mittleren Höhenlagen schlechter geeignet als Hoch- beziehungsweise Tieflagen. Die Qualität nimmt mit zunehmend einseitiger Beeinflussung der Bäume durch die Temperaturen oder die Niederschläge zu. Etwas anders verhält sich die Jahrringbreite. Ihre grösste Eignung liegt im Bereich der unteren Waldgrenze. Mit abnehmender Niederschlagssensitivität nimmt die dendroklimatologische Eignung ab. Gegen die obere Waldgrenze steigt sie wieder leicht an. FRITTS et al. (1965) und LAMARCHE (1974 b) gelangten für die Jahrringbreite zu gleichen Resultaten, ohne jedoch der standörtlichen Variabilität innerhalb der gleichen Höhenstufe Bedeutung zuzumessen. Wie stark aber die Qualität der Chronologien von den standörtlichen Verhältnissen abhängig ist, zeigen die beiden Chronologien aus den Tieflagen der Rocky Mountains. Obwohl beide auf rund 1900 Meter ü.M. liegen, ist die dendroklimatologische Qualität sowohl bei der maximalen Dichte als auch bei der Jahrringbreite sehr unterschiedlich.

4.3.2 Kurvenverlauf

Sensitivität. Der optische Vergleich der verschiedenen Chronologien zeigt, dass die Sensitivität der Messreihen von Untersuchungsraum zu Untersuchungsraum schwankt. Vor allem beim Parameter maximale Dichte sind grosse Unterschiede feststellbar (Abbildung 35). Den generell sensitivsten Verlauf weisen bei diesem Jahrringparameter die Kurven aus dem Walliser Rhonetal und dem Jura auf. Weniger sensitiv sind die Chronologien aus dem Untersuchungsraum der Front Range. Eine weitere deutliche Abnahme ist bei den Kurven mittlerer Höhenlage aus dem Troodosgebirge zu verzeichnen, während sich die zypriotischen

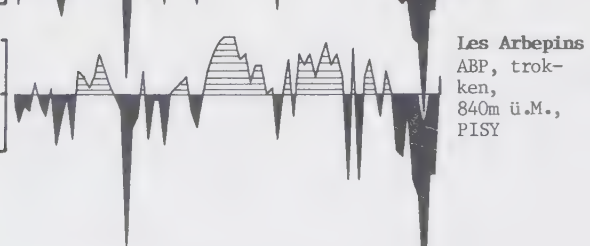
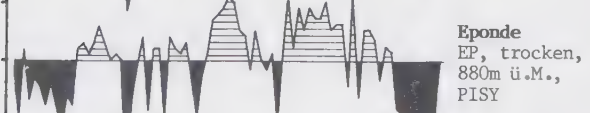
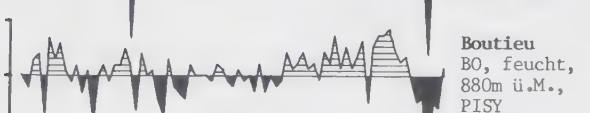
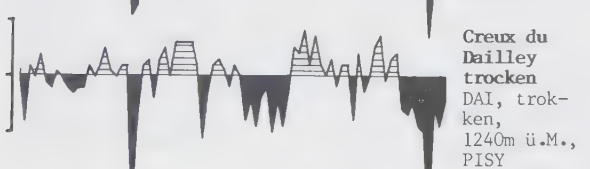
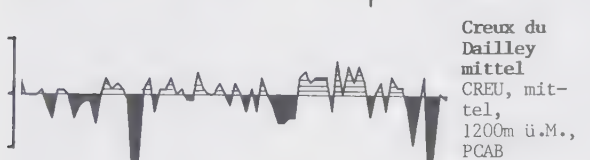
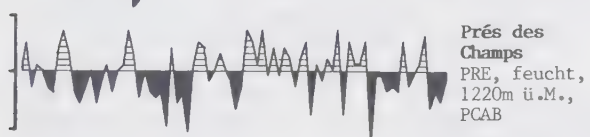
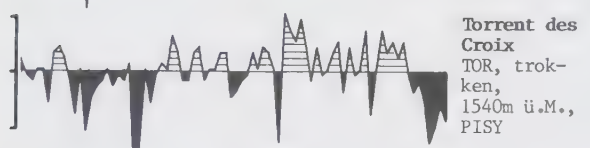
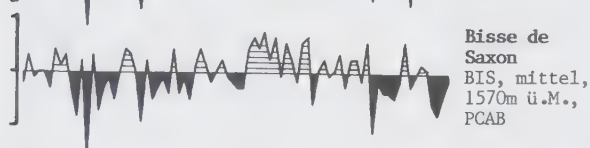
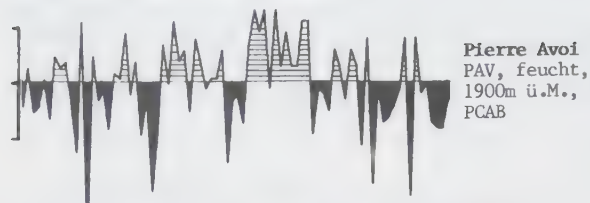
Chronologien über 1600 Meter ü.M. und die trockene Tieflage wieder sensitiver verhalten. Bei der Jahrringbreite (Abbildung 36) sind die Sensitivitätsunterschiede zwischen den verschiedenen Untersuchungsgebieten geringer. Vor allem die zypriotischen Standorte mittlerer Höhenlage zeigen eine grössere Sensitivität als bei der maximalen Dichte.

Die geringe Sensitivität der maximalen Dichte bei den zypriotischen Zedernchronologien mittlerer Höhenlage ist auffällig. Nur am extrem trockenen Standort Cedar Valley trocken (CEDT) ist die maximale Dichte qualitativ zufriedenstellend. Vermutlich sind die schlechten densitometrischen Eigenschaften art-, standorts- und klimatisch bedingt (vgl. Kapitel 7). Uebereinstimmend mit TAMARI (1976) weist die Jahrringbreite bei der Zeder relativ gute dendroklimatologische Eigenschaften auf.

Möglicherweise artbedingt sind auch die geringen Sensitivitäten bei den *Picea engelmannii* Parry-Beständen in den Rocky Mountains. Qualitativ vermögen diese Chronologien aber genügen, was sich mit den Erkenntnissen von PARKER und HENOCK (1971) deckt.

Gleichläufigkeit. Die optisch beurteilte Gleichläufigkeit zeigt, dass an der oberen und unteren Waldgrenze sowohl bei der maximalen Dichte als auch bei der Jahrringbreite die höchsten Gleichläufigkeiten zu beobachten sind. In mittleren Höhenlagen folgen die Kurven abwechselnd dem Trend der oberen oder der unteren Standortschronologien. Durchläuferperioden, in denen alle Standorte gleiche Tendenzen aufweisen, treten bei der Jahrringbreite häufiger auf als bei der maximalen Dichte. Es handelt sich dabei um extreme Trocken- oder Kälteperioden sowie um trocken-kalte Jahre. Genauer wird auf dieses Problem im Kapitel 5 eingegangen.

Walliser Rhonetal, Schweiz



PISY *Pinus sylvestris* L.

PIBR *Pinus brutia* Ten.

PINI *Pinus nigra* ssp. *pallasiana* (Lamb.)
Holmb.

PIPO *Pinus ponderosa* Dougl.

PCAB *Picea abies* (L.) Karst.

PCPU *Picea pungens* Engelm.

PCEN *Picea engelmannii* Parry

PSME *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco

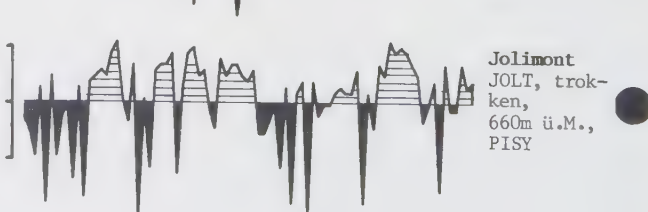
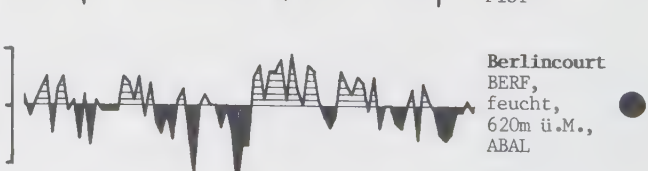
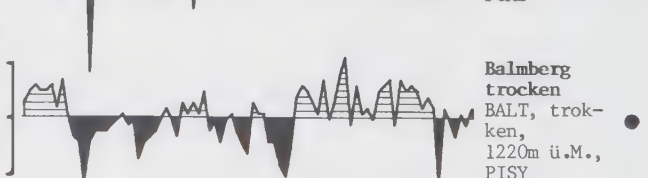
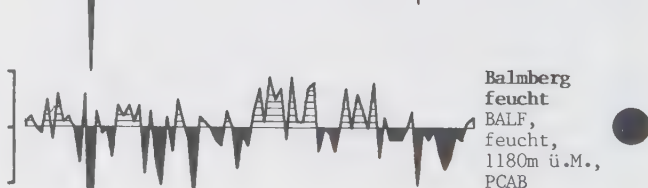
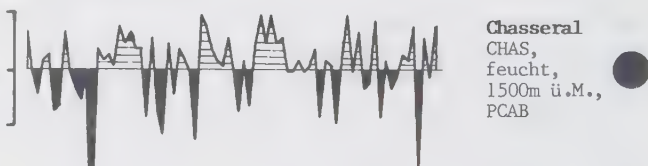
ABAL *Abies alba* Mill.

CEBR *Cedrus brevifolia* Henry

Dendroklimatologische Qualität

Sig- natur	Bedeutung	Durchschnittliche Bewertung (aufsteigende Punkteskala) der fünf statistischen Kenn- grössen nach dem Bewertungs- schlüssel in der Tabelle 18 (Anhang).
●	Sehr gut	2,6 - 3,0
●	Gut	2,1 - 2,5
●	Mässig	1,6 - 2,0
●	Schlecht	1,0 - 1,5

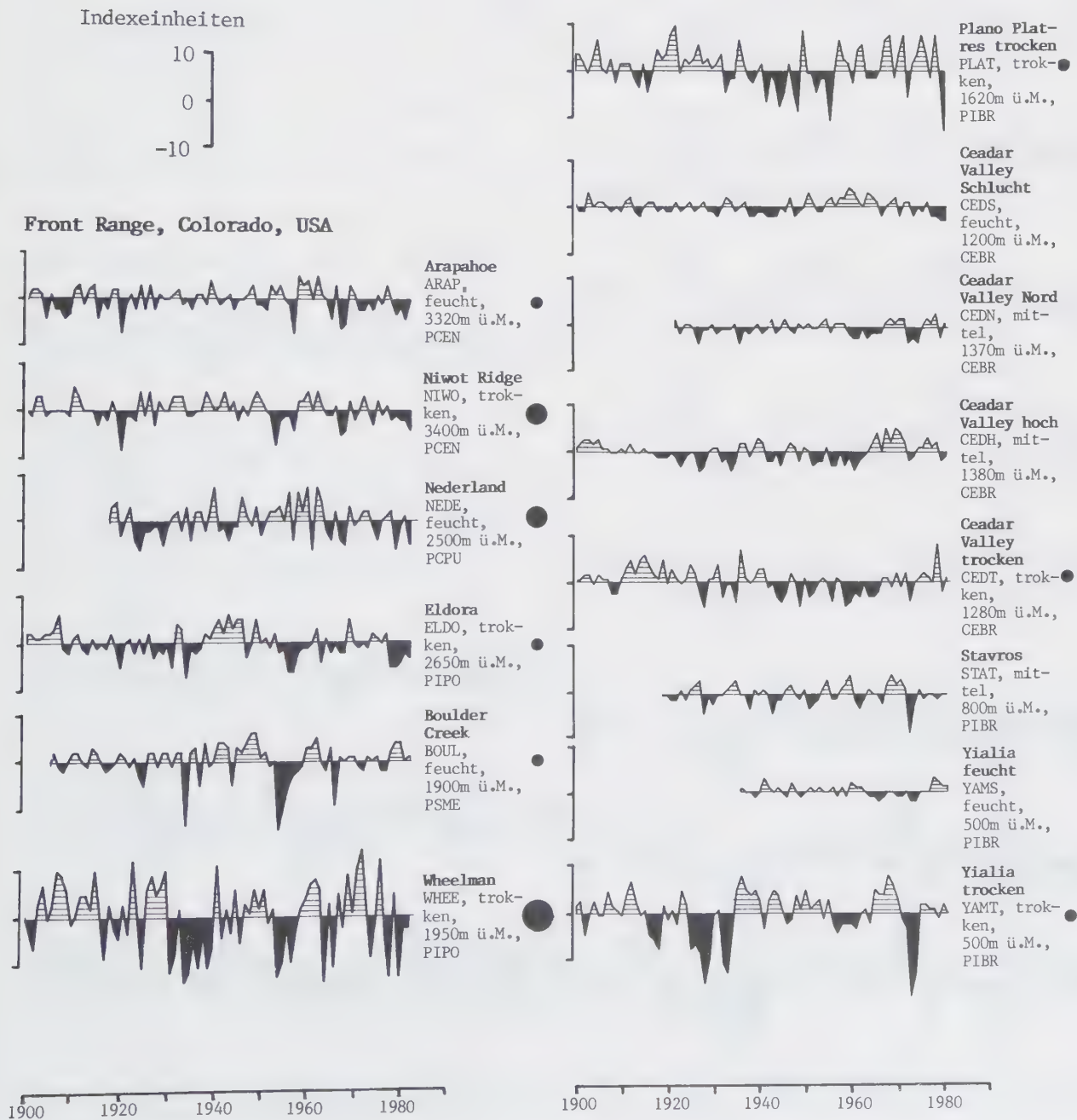
Jura, Schweiz



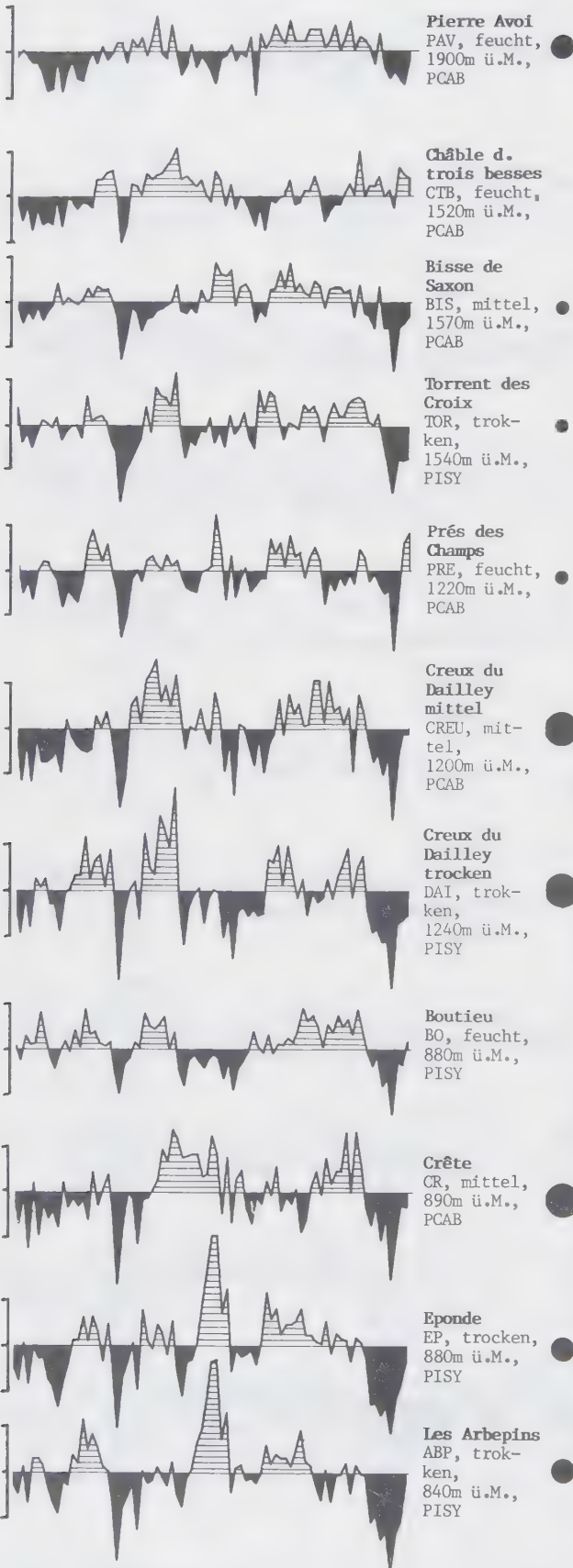
1900 1920 1940 1960 1980

1900 1920 1940 1960 1980

Abbildung 35: Mittelkurven der maximalen Dichte der untersuchten Waldbestände sowie zugehörige dendroklimatologische Qualitätsansprache. Die meisten Chronologien werden zwischen 1901 und dem letzten erfassten Jahr dargestellt. Einzelne Kurven sind kürzer. Die Qualitätsansprache basiert auf der Auswertung der statistischen Kenngrößen Streuung, Sensitivität und Autokorrelation der Mittelkurven sowie der Kreuzkorrelationen und der Gleichläufigkeiten der Einzelkurven. Die Chronologien der Hoch- und Tieflagen sind generell am besten geeignet. Die Qualität der zypriotischen Chronologien ist im Vergleich zu den anderen Untersuchungsräumen deutlich geringer.



Walliser Rhonetal, Schweiz

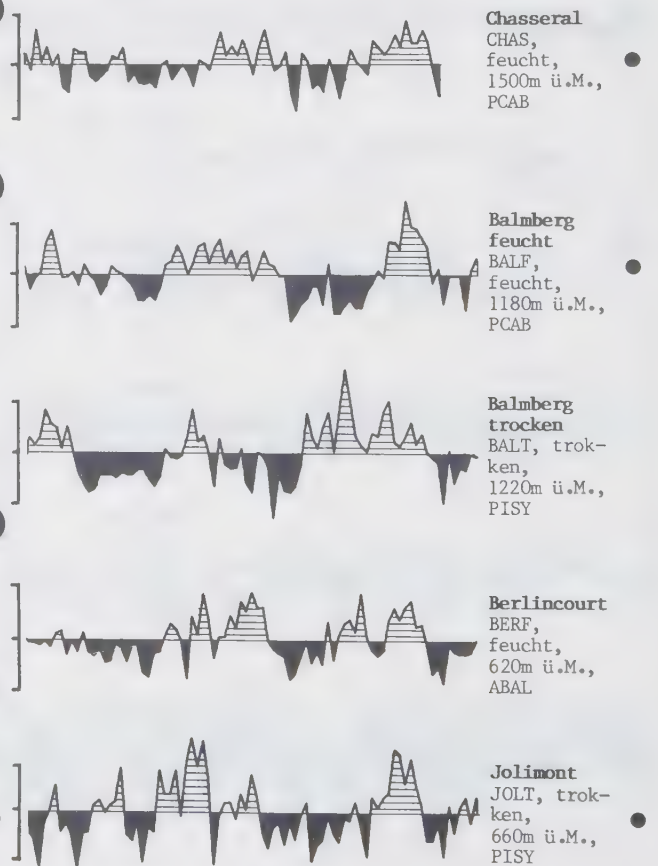


PISY *Pinus sylvestris* L.
PIBR *Pinus brutia* Ten.
PINI *Pinus nigra* ssp. *pallasiana* (Lamb.) Holmb.
PIPO *Pinus ponderosa* Dougl.
PCAB *Picea abies* (L.) Karst.
PCPU *Picea pungens* Engelm.
PCEN *Picea engelmannii* Parry
PSME *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco
ABAL *Abies alba* Mill.
CEBR *Cedrus brevifolia* Henry

Dendroklimatologische Qualität

Sig-natur	Bedeutung	Durchschnittliche Bewertung (aufsteigende Punkteskala) der fünf statistischen Kenngrössen nach dem Bewertungsschlüssel in der Tabelle 18 (Anhang).
●	Sehr gut	2,6 - 3,0
●	Gut	2,1 - 2,5
●	Mässig	1,6 - 2,0
●	Schlecht	1,0 - 1,5

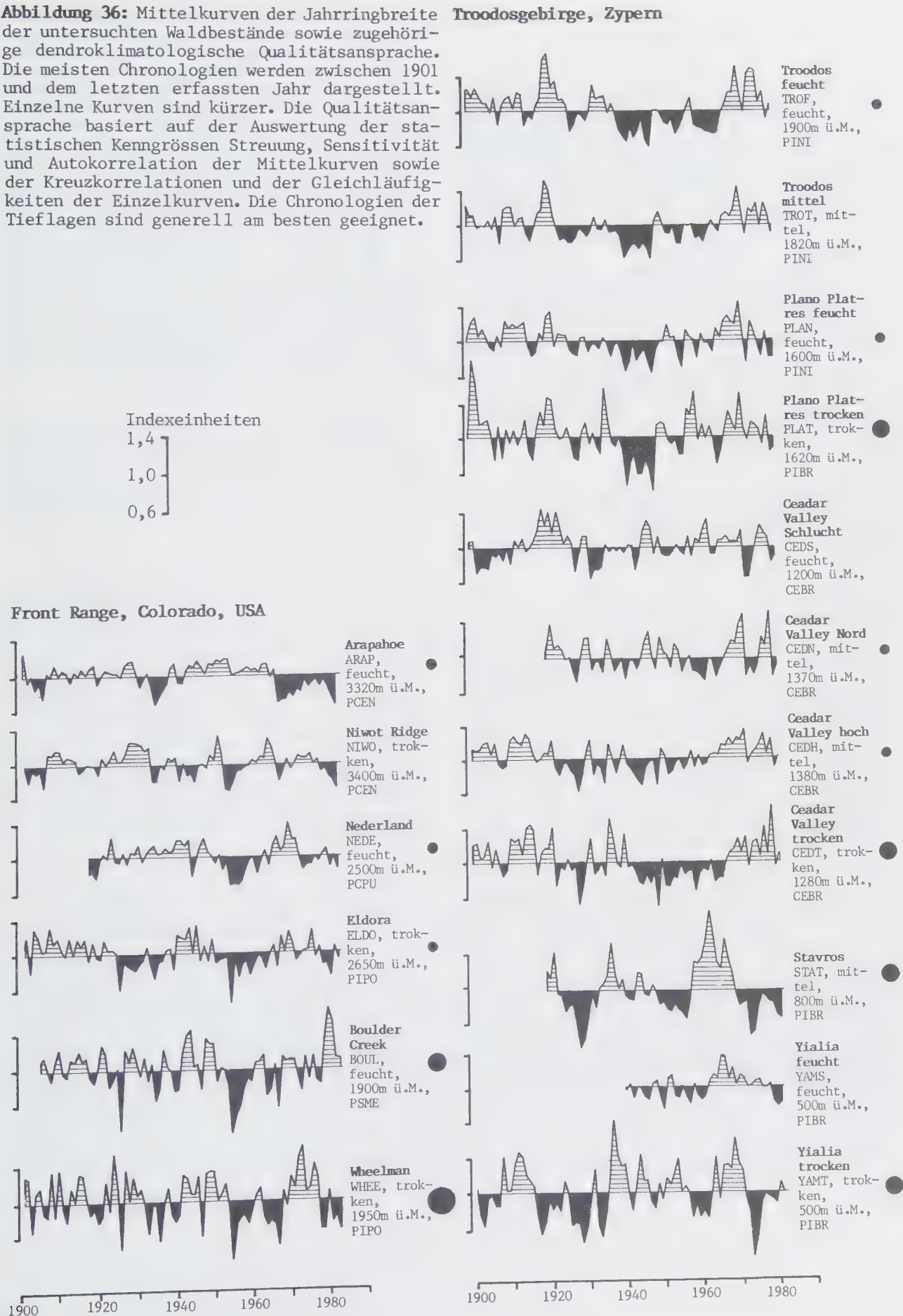
Jura, Schweiz



1900 1920 1940 1960 1980

1900 1920 1940 1960 1980

Abbildung 36: Mittelkurven der Jahrringbreite der untersuchten Waldbestände sowie zugehörige dendroklimatologische Qualitätsansprache. Die meisten Chronologien werden zwischen 1901 und dem letzten erfassten Jahr dargestellt. Einzelne Kurven sind kürzer. Die Qualitätsansprache basiert auf der Auswertung der statistischen Kenngrößen Streuung, Sensitivität und Autokorrelation der Mittelkurven sowie der Kreuzkorrelationen und der Gleichläufigkeiten der Einzelkurven. Die Chronologien der Tieflagen sind generell am besten geeignet.



4.3.3 Ueberregionaler dendrochronologischer Standortsvergleich

Die Basis- und Chronologiestatistik steht heute in praktisch allen dendroklimatologischen Untersuchungen zur Verfügung. In der vorliegenden Studie soll ihr dendroökologischer Informationsgehalt überprüft werden. Insbesondere interessiert die Frage, ob die einfach zu berechnenden Angaben über die Streuung und die Sensitivität von Chronologien einen überregionalen Standortsvergleich ermöglichen. Man geht dabei von der Hypothese aus, dass sowohl die Sensitivität als auch die Streuung ein gutes Mass sind, um die Umweltbedingungen von Waldbeständen abzuschätzen (SCHULMANN, 1956). Tiefe Werte zeigen ausgeglichene Wachstumsverhältnisse an. Hohe Werte sind typisch für Standorte mit stark schwankenden Wachstumsbedingungen. Meistens sind es Waldbestände mit extremen ökologischen Eigenschaften, wie zum Beispiel Standorte an der oberen Waldgrenze oder extreme Trockenstandorte.

In der Abbildung 37 wird der überregionale dendrochronologische Standortsvergleich mit Hilfe einfacher statistischer Daten dargestellt. Folgende Erkenntnisse lassen sich daraus ableiten:

Generelle Uebereinstimmung der Klassifikationsmethoden. Die nach pflanzensoziologischen, topographischen und pedologischen Kriterien durchgeführte standortskundliche Klassifikation innerhalb eines Untersuchungsraumes stimmt generell mit der dendrochronologisch-basisstatistischen Klassifikation überein. Die Trockenstandorte der Tieflagen sind sensibler als die feuchten Bestände, deren Wasserangebot in den meisten Fällen auch in Trockenjahren genügend gross ist, um ein ausgeglichenes Wachstum zu ermöglichen. In den mittleren Höhenlagen differieren die Sensitivitätswerte der beiden Standortstypen weniger stark. Feuchte Standorte weisen aber immer noch einen ausgeglicheneren Wachstumsverlauf auf als Trockenstandorte. Im Bereich der oberen Waldgrenze sind die Verhältnisse zum Teil umgekehrt. Trockenstandorte weisen eher geringere Sensitivitäts- und Streuungswerte auf als Waldbestände mit feuchten Wachstumsbedingungen. Das Wärme- und Wasserangebot ist in den meist südexponierten, relativ trockenen Waldgrenzstandorten offenbar genügend gross, um im Jahrringbild trotz Kälteeinbrüchen einen relativ ausgeglichenen Verlauf zu bewirken.

Relativität der standortskundlichen Klassifikation. Trotz der generellen Uebereinstimmung der standortskundlichen und der dendrochronologisch-basisstatistischen Klassifikationsmethode sind die standortskundlichen Charakterisierungen 'trocken', 'mittel' und 'feucht' relativ. Sie drücken die Standortbedingungen in Bezug auf die jeweilige Höhenlage und den jeweiligen Untersuchungsraum aus.

Als erstes Beispiel sei der als feucht eingestufte Waldbestand Boulder Creek (USA 2) genannt. Seine Sensitivitäts- und Streuungswerte sind praktisch identisch mit dem als trocken eingestuften Waldbestand Yialia (ZY 1). Ein weiteres Beispiel stellen die Waldbestände mittlerer Höhenlage dar. Hier ist der als Trockenstandort erfasste Bestand Torrent des Croix (VS 8) von den Sensitivitäts- und Streuungswerten her identisch mit dem als feucht eingestuften Bestand Nederland (USA 4).

Allgemeine Trends. Die Variationsbreite der Parameter Sensitivität und Streuung nimmt mit zunehmender Meereshöhe ab. Das erhöhte Niederschlagsangebot höherer Lagen führt vermutlich zu einer Abnahme der Standortunterschiede und damit zu ähnlicheren Wachstumsbedingungen.

Der durchschnittliche Verlauf der Sensitivität und der Streuung aller Standorte zeigt deutliche Maxima an der oberen Waldgrenze und in Tieflagen, wo das kambiale Wachstum hauptsächlich durch die Temperaturen bzw. die Niederschläge limitiert wird. Minimale durchschnittliche Werte stellt man im mittleren Höhenbereich fest, wo offenbar die ausgeglichene ökologischen Bedingungen herrschen. LAMARCHE (1974 a,b) und FRITTS et al. (1965) gelangten zu ähnlichen Ergebnissen. Die durchschnittlichen Verläufe der Sensitivität und der Streuung an den feuchten und trockenen Standorten wurden bereits oben interpretiert.

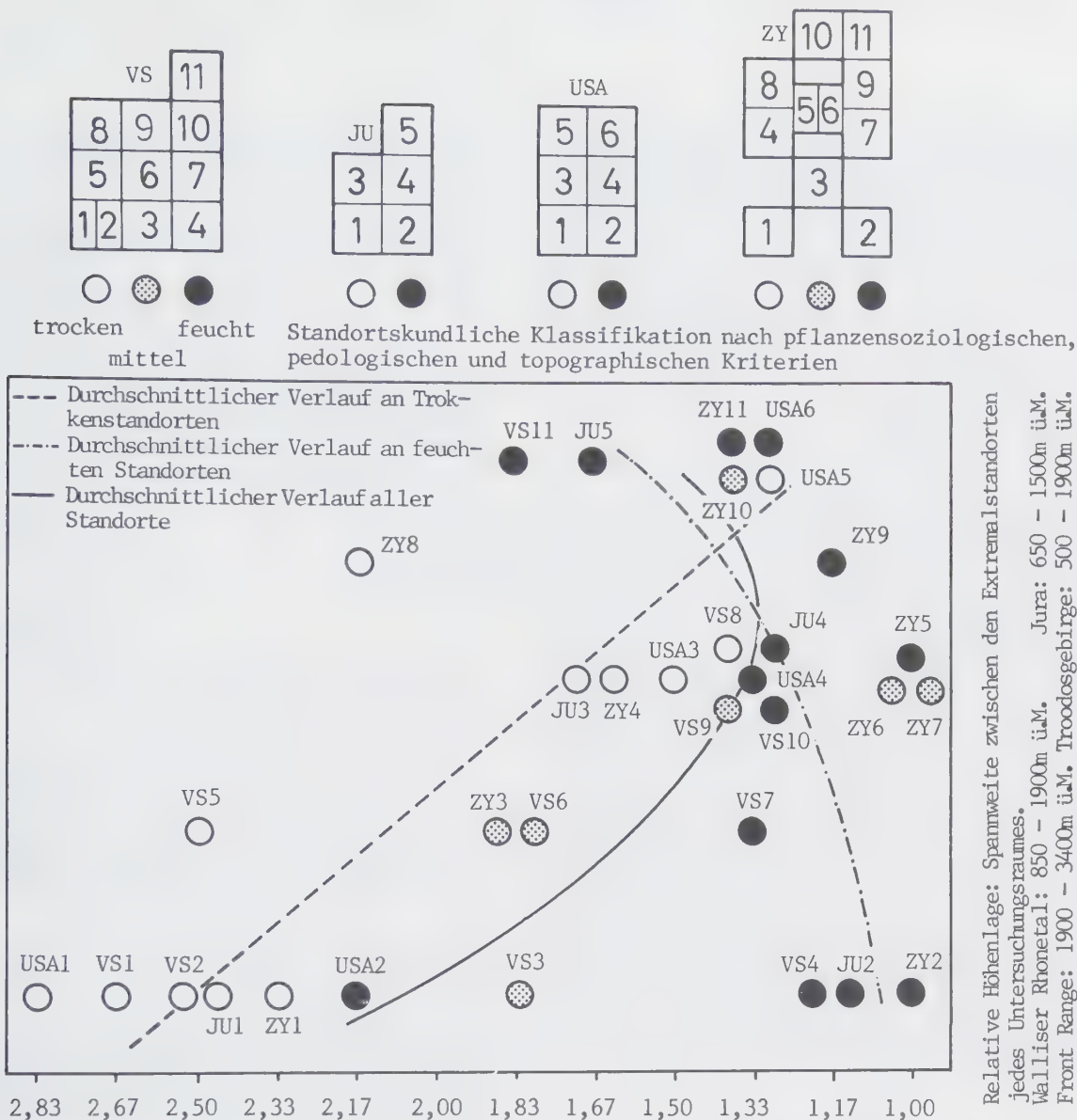
Die einfach zu berechnenden statistischen Angaben über die Streuung und die Sensitivität von Chronologien haben einen bemerkenswert hohen dendroökologischen Informationsgehalt. Mit ihrer Hilfe können Standortchronologien überregional klassifiziert und gruppiert werden.

Walliser Rhonetal

Jura

Front Range

Troodosgebirge



Zunehmende Streuung und Sensitivität der Chronologien nach dem Bewertungsschlüssel in der Tabelle 18 (Anhang). Durchschnittliche Bewertungen der Jahrringparameter maximale Dichte, Jahrringbreite, Spätholzbreite.

Abbildung 37: Regionenübergreifender, dendrochronologischer Standortsvergleich mit Hilfe einfacher statistischer Angaben (Periode: 1901 - 1970 bzw. kürzer bei kürzeren Chronologien). Jeder Punkt im Diagramm steht stellvertretend für eine Standortschronologie. Die dendroökologischen Diagramme und die Abkürzungen erleichtern deren Identifikation. Die Lage der Punkte im Koordinatensystem ergibt sich auf Grund der Höhenlage der Chronologien sowie der Streuungs- und Sensitivitätswerte der Parameter maximale Dichte, Jahrringbreite und Spätholzbreite. Die Graustufen repräsentieren die standortkundliche Klassifikation der Standorte. Als Ordinate wird eine relative Höhenskala verwendet, die die Lage der Probeflächen bezüglich der beiden Extremstandorte angibt. Damit ist ein gegenseitiger Vergleich der unterschiedlich hoch gelegenen Untersuchungsräume möglich. Auf Grund der einfachen statistischen Angaben lassen sich die einzelnen Standorte klar gegeneinander abgrenzen.

5 Jahrringwachstum - Standort - Klima

Das wichtigste Anliegen der vorliegenden Arbeit ist die einzeljahresweise Analyse des Jahrringwachstums. In den Kapiteln 5.1, 5.2 und 5.3 werden die Resultate der entwickelten Verfahren beschrieben.

5.1 Die Darstellung des Jahrringwachstums im dendroökologischen Diagramm

5.1.1 Allgemeines

Um das Jahrringwachstum in Abhängigkeit vom Standort und der Höhenlage einzeljahresweise darzustellen, wurden die bereits im Kapitel 3 benützten dendroökologischen Diagramme verwendet. Die Abbildung 38 illustriert das Vorgehen am Beispiel des Walliser Rhonetals. Die indextierten Mittelwerte sowie die Intervalltrends der Jahrringchronologien werden Jahr für Jahr den entsprechenden Standortfeldern zugeordnet. Um die optische Ansprache der Daten zu verbessern, wird jedes Feld mit einer bestimmten Graustufe versehen, die proportional zum darzustellenden Wert ist. Die Diagramme können folglich wie Choroplethenkarten interpretiert werden (KISHIMOTO, 1972). Um den Darstellungsprozess zu automatisieren, wurde das Computerprogramm DAR entwickelt, mit dem die dendroökologischen Diagramme auf einem Zeilendrucker ausgedruckt werden können. Die Zeilendruckerdarstellung bewährte sich als rasche und qualitativ genügende optische Darstellungshilfe. An die 3000 Diagramme wurden hergestellt und optisch beurteilt.

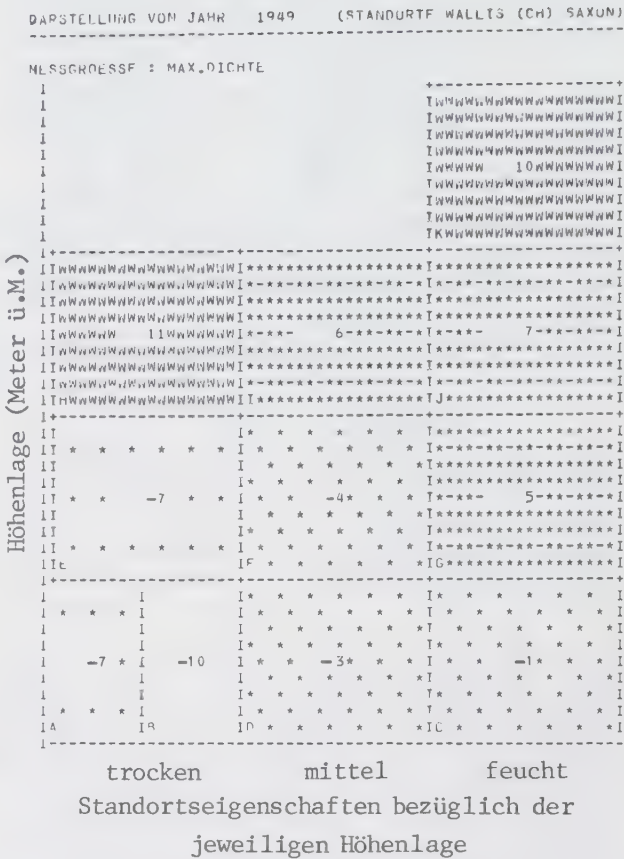
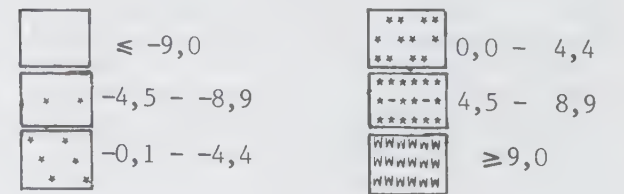


Abbildung 38: Computerausdruck eines dendroökologischen Diagramms aus dem Walliser Rhonetal. Die Anordnung der Standorte ist gleich wie bei der Standortsbeschreibung (vgl. Abbildung 7). Jedes Feld steht stellvertretend für eine Standortchronologie und enthält den Wert des darzustellenden Jahrringparameters in einem bestimmten Jahr. Dunkle Felder kennzeichnen hohe Werte, helle Felder tiefe Werte des entsprechenden Jahrringparameters. Deutlich sichtbar ist das optimale Zellwandwachstum an den Standorten der oberen Waldgrenze, während die trockenen Tieflagen ungünstige Bedingungen haben.

Graustufen und zugehörige Klassengrenzen (Indexeinheiten der maximalen Dichte)

Das dendroökologische Diagramm eignet sich gut für die einzeljahresweise Darstellung von Jahrringchronologien aus verschiedenen Höhenlagen und mit unterschiedlichen Standortseigenschaften.



5.1.2 Die Typisierung der dendroökologischen Diagramme

Idealisierte Haupttypen. Bei der optischen Klassifikation der Diagramme kristallisierten sich drei typische jahrringanalytische Hauptbeeinflussungsmuster heraus, die in der Abbildung 39 idealisiert dargestellt werden. Den drei Hauptmustern wurden hypothetisch aber in Uebereinstimmung mit LAMARCHE (1974a, 1978) drei generell verschiedene Witterungstypen zugeordnet. Der oben zitierte Autor

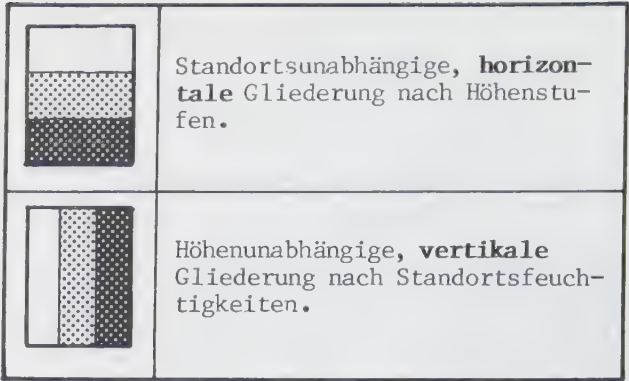
schlägt auf Grund von zwei Chronologien aus ökologischen Extremlagen (obere und untere Waldgrenze) einen weiteren Typus vor. Er ist durch optimales Wachstum an beiden Extremstandorten ausgezeichnet und wird einer feucht-warmen Witterung zugeordnet (Typus D). Dieser Typus wurde lediglich bei den Einzeljahresanalysen erfasst. Es zeigte sich, dass die in der Abbildung 39 angegebenen Beziehungen für die Jahrringparameter maximale Dichte, Jahrring-, Spätholz- und Frühholzbreite gelten. Die minimale Dichte hat zum Teil andere Beziehungen. Diese werden in der Abbildung 48 genauer erläutert.

Jahrring-analyti-sches Hauptbeeinflussungsmuster	Zugeordneter Witterungstyp (in Uebereinstimmung mit LAMARCHE, 1974 a, 1978)	Gültigkeit für folgen-de Jahr-ringpara-meter:
Typus A Höhenlage  t f	Kalt-feuchte Bedingungen in denjenigen Monaten, die auf den entsprechenden Jahrringparameter einen entscheidenden Einfluss ausüben. Die kambiale Aktivität ist an der oberen Waldgrenze eingeschränkt. Das Wärmeangebot für Bäume in trockenen Tieflagen ist jedoch genügend gross, und es steht dank der feuchten Witterung reichlich Wasser zur Verfügung, so dass das Jahrringwachstum optimal ist. In den Beständen im Uebergangsbereich zwischen den Extremstandorten hängt das Jahrringwachstum stark von den Standortverhältnissen ab. Temperatursensitive Standorte weisen reduziertes Wachstum auf, während niederschlagssensitive Bestände vom hohen Wasserangebot profitieren können.	Max
Typus B 	Warm-trockene Bedingungen in denjenigen Monaten, die auf den entsprechenden Jahrringparameter einen entscheidenden Einfluss ausüben. Die kambiale Aktivität ist in den Tieflagen wegen hoher Verdunstung und Wasserstress eingeschränkt. Bäume an der Waldgrenze weisen jedoch optimales Wachstum auf, da das Wärmeangebot hoch ist und in dieser Höhenlage trotz der allgemein trockenen Witterung genügend Wasser zur Verfügung steht. Auch bei diesem Witterungstypus hängt das Jahrringwachstum in den Beständen im Uebergangsbereich zwischen den Extremstandorten stark von den Standortbedingungen ab. Temperatursensitive Bestände weisen optimales Wachstum auf, niederschlagssensitive Standorte reagieren mit Wachstumsreduktionen.	FH SH JB
Typus C 	Kalt-trockene Bedingungen in denjenigen Monaten, die auf den entsprechenden Jahrringparameter einen entscheidenden Einfluss ausüben. Die kambiale Aktivität ist in den Tieflagen wegen Wasserstress eingeschränkt, während Bäume an der oberen Waldgrenze wegen tiefen Temperaturen reduziertes Wachstum aufweisen. Bestände im Uebergangsbereich zwischen den Extremstandorten haben günstige Bedingungen.	
Graustufen: Je dunkler eine Fläche, umso grösser ist der Wert des darzustellenden Jahrringparameters.		

Abbildung 39: Idealisiert dargestellte Haupttypen von dendroökologischen Diagrammen. Die drei jahrringanalytischen Hauptbeeinflussungsmuster sind an allgemeingültigen, schematischen Diagrammen dargestellt. Die Abszisse bezeichnet die Standortseigenschaften bezüglich der jeweiligen Höhenlage (t: trocken, f: feucht). Die Ordinate gibt die Höhenlage an.

Max = Maximale Dichte FH = Frühholzbreite SH = Spätholzbreite JB = Jahrringbreite

Idealisierte Untertypen. Nebst den Haupttypen konnten noch zwei wichtige Untertypen unterschieden werden, die in der Abbildung 40 idealisiert dargestellt sind. Die Untertypen traten bei sämtlichen Jahrringparametern auf.



Die optische Analyse der dendroökologischen Diagramme führt zu drei Hauptbeeinflussungsmustern und zwei Untertypen. Die drei Haupttypen werden hypothetisch drei voneinander abweichenden Witterungstypen zugeordnet.

Abbildung 40: Idealisiert dargestellte Untertypen von dendroökologischen Diagrammen. Die zwei jahrringanalytischen Muster sind an allgemeingültigen, schematischen Diagrammen dargestellt. Je dunkler eine Fläche umso grösser ist der Wert des darzustellenden Jahrringparameters. Die Abszisse bezeichnet die Standortseigenschaften bezüglich der jeweiligen Höhenlage (t: trocken, f: feucht). Die Ordinate gibt die Höhenlage an.

5.2 Dendroökologische Einzeljahres- und Gruppenanalysen

Die dendroökologischen Gruppierungsverfahren wurden in sämtlichen Untersuchungsräumen angewendet. Die detaillierten Resultate sind im Kapitel 5.2.1 wiedergegeben. Das Kapitel dient dem Zweck der Dokumentation. Der eilige Leser, der an den wichtigsten Erkenntnissen interessiert ist, findet im Kapitel 5.2.2 eine Zusammenfassung der Resultate.

5.2.1 Detaillierte Resultate

Die ausführlich beschriebenen Analysen der dendroökologischen Diagramme findet man in den Abbildungen 41 bis 48. Die Tafeln sind nach Untersuchungsräumen und Jahrringparametern geordnet. Der genaue Aufbau ist nachstehend erläutert.

Erläuterungen zu den Abbildungen 41 bis 48

Einzeljahresanalyse (linke Seite). Das Jahrringwachstum eines repräsentativen Querschnitts von Einzeljahren wird mit Hilfe von dendroökologischen Diagrammen dargestellt. Es wird darauf geachtet, dass sowohl gut wie schlecht interpretierbare Jahre vorkommen. Die Jahresmuster werden falls möglich einem passenden Hauptbeeinflussungsmuster zugeordnet und mit den Witterungsdaten verglichen. Es muss deutlich darauf hingewiesen werden, dass die Zuordnung zu den Haupttypen auf Grund der Holzdaten erfolgt. Der zugehörige Witterungsverlauf weicht deshalb bei den Einzeljahren manchmal vom hypothetisch erwarteten Ablauf ab.

Die Witterung der Einzeljahre wird sowohl für die Niederschläge als auch für die Temperaturen quartalsweise charakterisiert. Vereinfachend werden die vier Jahreszeiten den vier Quartalen gleichgesetzt:

- I. Quartal = Winter
- II. Quartal = Frühjahr
- III. Quartal = Sommer
- IV. Quartal = Herbst

Die verwendeten Signaturen sind in der Tabelle 8 erklärt.

Gruppenanalyse (rechte Seite). In der Gruppenanalyse werden alle Jahre, die zu einem der drei Haupttypen gehören, zusammengefasst und die Indexwerte und die Intervalltrends gemittelt. Eine detaillierte Zusammenstellung der gemittelten Jahre wird in der Tabelle 16 (Anhang) gegeben. Die drei Hauptbeeinflussungsmuster umfassen je nach Jahrringparameter 40 bis 65% aller erfassten Jahre dieses Jahrhunderts. Die restlichen Jahre können wohl gruppiert, aber nicht den Haupttypen zugeordnet werden. Der prozentuale Anteil gruppierbarer Jahre liesse sich folglich mit Hilfe detaillierterer Gruppierungsverfahren vergrössern. In dieser Studie wurde aber auf eine genauere Gruppierung verzichtet.

Anschliessend werden die Differenzen zwischen dem mittleren Witterungsverlauf der einzelnen Gruppen in Form von vier Diagrammen dargestellt. Die Differenzbildung erlaubt Antworten auf die Frage, in welchen Monaten sich der mittlere Witterungsverlauf der drei Hauptbeeinflussungsmuster voneinander unterscheidet. Mit Ausnahme der minimalen Dichte lauten die konkreten Fragen (vom linken zum rechten Diagramm):

Diagramm 1 (links aussen): In welchen Monaten sind die Jahre des warm-trockenen Typus B durchschnittlich wärmer als die Jahre des kalt-feuchten Typus A?

Diagramm 2: In welchen Monaten sind die Jahre des kalt-feuchten Typus A durchschnittlich feuchter als die Jahre des warm-trockenen Typus B?

Diagramm 3: In welchen Monaten sind die Jahre des warm-trockenen Typus B durchschnittlich wärmer als die Jahre des kalt-trockenen Typus C?

Diagramm 4 (rechts aussen): In welchen Monaten sind die Jahre des kalt-feuchten Typus A durchschnittlich feuchter als die Jahre des kalt-trockenen Typus C?

Sowohl in der Einzeljahresanalyse als auch in der Gruppenanalyse können die standörtlichen Einflussbereiche abgegrenzt werden, in denen sich das Jahrringwachstum tendenzmässig gleich verhält wie an einem der beiden Extremstandorte. Im Text zur Tabelle 9 wird das Vorgehen genauer erläutert. Mit Hilfe der Abgrenzung ist es möglich, jahresweise anzugeben, in welchen Waldbeständen das Jahrringwachstum eher durch die Temperaturen oder eher durch die Niederschläge limitiert wird. Die Aussagen gelten nur, wenn die Jahrringsequenzen der Extremstandorte signifikant von

den Temperaturen oder von den Niederschlägen geprägt werden. Diese Bedingung wurde mit Hilfe der 'response functions' für jeden Untersuchungsraum und Jahrringparameter geprüft.

Graustufenwahl und Klassenbildung. Die in den dendroökologischen Diagrammen verwendeten Graustufen und die zugehörigen Klasseneinteilungen sind aus der Tabelle 9 ersichtlich. Helle Felder kennzeichnen tiefe Werte, dunkle Felder hohe Werte der zugehörigen Jahrringparameter.

Signatur	Quartalswitterung bezüglich langjährigem Mittel		Durchschnittliche Bewertung der Abweichungen der drei Monate eines Quartals vom langjährigen Mittel (Bewertungsschlüssel, vgl. Tabelle 19, Anhang)
	Temperaturen	Niederschläge	
• • •	Sehr warm	Sehr nass	2,5 - 3,0
• •	Warm	Nass	1,5 - 2,4
•	Mild	Feucht	0,5 - 1,4
	Durchschnittlich	Durchschnittlich	-0,4 - 0,4
○	Kühl	Leicht zu trocken	-0,5 - -1,4
○ ○	Kalt	Trocken	-1,5 - -2,4
○ ○ ○	Sehr kalt	Sehr trocken	-2,5 - -3,0

Tabelle 8: Signaturenerklärung zur quartalsweisen Witterungscharakterisierung. Zuerst werden die monatlichen Abweichungen der Temperaturen und der Niederschläge vom langjährigen Mittel nach dem Bewertungsschlüssel in der Tabelle 19 (Anhang) bewertet. Anschliessend werden die Bewertungen von je drei Monaten gemittelt und einer der oben angegebenen Kategorien zugeordnet.

Sig- na- tur	Bedeutung	Einzeljahre			Gruppenmittel			
		Maximale Dichte	Jahrring- und Spät- holzbreite	Minimale Dichte	Maximale Dichte	Jahrring- und Spät- holzbreite	Minimale Dichte	Intervall- trend (al- le Jahr- ringpara- meter)
	Sehr hoch	≥ 9,0	≥ 1,40	≥ 5,0	≥ 4,0	≥ 1,20	≥ 2,5	70,0-100,0
	Hoch	4,5- 8,9	1,20- 1,39	2,0- 4,9	1,5- 3,9	1,10- 1,19	1,0- 2,4	60,0- 69,9
	Mässig hoch	0,0- 4,4	1,00- 1,19	0,0- 1,9	0,0- 1,4	1,00- 1,09	0,0- 0,9	50,0- 59,9
	Mässig tief	-0,1- -4,4	0,80- 0,99	-0,1- -1,9	-0,1- -1,4	0,90- 0,99	-0,1- -0,9	40,0- 49,9
	Tief	-4,5- -8,9	0,60- 0,79	-2,0- -4,9	-1,5- -3,9	0,80- 0,89	-1,0- -2,4	30,0- 39,9
	Sehr tief	≤ -9,0	≤ 0,59	≤ -5,0	≤ -4,0	≤ 0,79	≤ -2,5	0,0- 29,9
---	Trennlinie	Indexeinheiten						

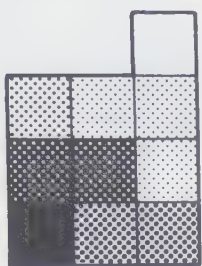
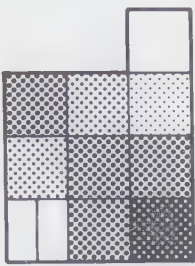
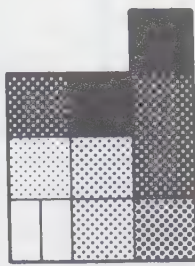
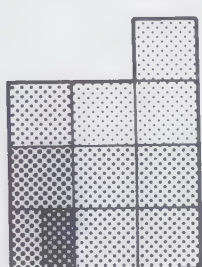
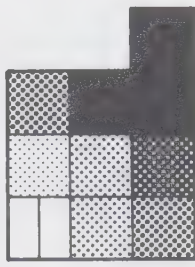
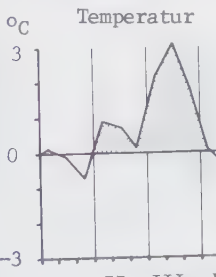
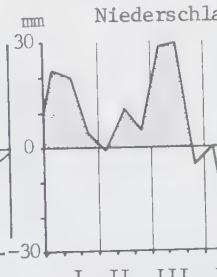
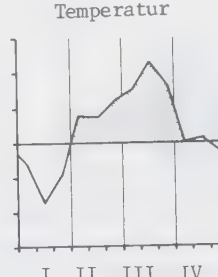
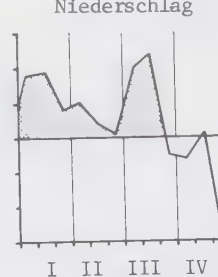
Tabelle 9: Graustufenwahl und Klasseneinteilung bei den dendroökologischen Diagrammdarstellungen. Mit Hilfe der Trennlinie (Grenze zwischen den über- und den unterdurchschnittlichen Werten) können die standörtlichen Einflussbereiche abgegrenzt werden, in denen sich das Jahrringwachstum tendenzmässig gleich verhält wie an einem der beiden Extremstandorte (feuchter oberer Waldgrenzstandort; tiefer Trockenstandort). Voraussetzung ist, dass die Werte der Jahrringparameter an den Extremstandorten auf der entgegengesetzten Seite der Trennlinie liegen. Alle anderen Standorte können nun entsprechend dem Wert ihrer Jahrringparameter dem einen oder anderen Extremstandort zugewiesen werden.

Walliser Rhonetal, Schweiz: Dendroökologische Diagramme der maximalen Dichte (Abbildung 41)
Einzeljahresanalysen

Jahr/Typus	1912 A	1963 A	1972 C	1955 D
Dendroökologisches Diagramm				
Witterung	T N Bemerkungen	T N Bemerkungen	T N Bemerkungen	T N Bemerkungen
Klima- station Sitten	I II III IV	I II III IV	I II III IV	I II III IV
Quartale	● ● ● ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ●	● ● ● ○ ○ ○ ○ ●	● ● ● ○ ○ ○ ○ ○
Interpretation	Der Sommer 1912 ist viel kälter als der Sommer 1963. Im Jahre 1912 weisen deshalb alle feuchten Standorte und sogar der trockene Hochlagenstandort reduziertes Zellwandwachstum auf, während der kurze Kälteeinbruch im August 1963 nur ein kleines Standortsspektrum negativ beeinflussen kann. Die tiefergelegenen, trockenen und mittleren Standorte haben in beiden Jahren gute Bedingungen.	Juni feucht August feucht und kalt	Der kalte Sommer beeinflusst die beiden hochgelegenen, feuchten Standorte negativ. Die Sommertrockenheit reduziert das Wachstum an den Trockenstandorten tiefer und mittlerer Höhenlage.	Das Dichtegefälle zwischen den trockenen Tieflagenstandorten und der oberen Waldgrenze wird vermutlich durch die eher kühle, feuchte Sommerwitterung hervorgerufen. Sonst scheint sich die durchschnittliche Witterung optimal auf das Zellwandwachstum auszuwirken.

Jahr/Typus	1947 B	1928 B	1976 B	1921 B
Dendroökologisches Diagramm				
Witterung	T N Bemerkungen	T N Bemerkungen	T N Bemerkungen	T N Bemerkungen
Klima- station Sitten	I II III IV	I II III IV	I II III IV	I II III IV
Quartale	○ ● ● ● ● ● ● ● ●	● ● ● ○ ○ ● ● ● ●	● ● ● ● ● ● ○ ● ●	● ● ● ● ● ● ● ● ● ○ ○ ○
Interpretation	B-Typen wegen generell warm-trockener Sommerwitterung (1976: durchschnittliche Sommertemperaturen). Die beiden extremen Trockenjahre 1921 und 1976 heben sich deutlich von den anderen Jahresmustern ab. Das Zellwandwachstum ist durch die Niederschlagsarmut bis in grosse Meereshöhen und über ein weites Standortsspektrum eingeschränkt. An feuchten Tieflagenstandorten sind die Verhältnisse im Jahre 1921 offenbar noch recht günstig, während das Zellwandwachstum in diesen Beständen 1976 stark eingeschränkt ist. Das im Jahre 1976 reduzierte Wachstum an der oberen Waldgrenze ist vermutlich auf den kalten September zurückzuführen. Die sehr warme aber weniger trockene Frühjahrs- und Sommerwitterung der Jahre 1928 und 1947 wirkt sich auf die hochgelegenen und feuchten Standorte äusserst positiv aus. Lediglich die trockenen und mittleren Tieflagenstandorte haben eingeschränkte Wachstumsbedingungen.			

Gruppenanalysen (Fortsetzung Abbildung 41)

Typus	A (Kalt-feucht)		C (Kalt-trocken)		B (Warm-trocken)	
Gemittelte Jahre	n= 19 (24% aller Jahre von 1901 - 1979)		n= 10 (13% aller Jahre von 1901 - 1979)		n= 14 (17% aller Jahre von 1901 - 1979)	
Dendroökologisches Diagramm						
Gruppenmittel: Indexwerte						
Gruppenmittel: Intervalltrend						
Witterung Sitten	Differenzen zwischen dem durchschnittlichen Witterungsverlauf von je zwei Jahresgruppen. Die gerasterten Flächen kennzeichnen jene Monate, in denen					
	Typus B durchschnittlich wärmer als Typus A ist.		Typus A durchschnittlich feuchter als Typus B ist.		Typus B durchschnittlich wärmer als Typus C ist.	
	Typus A durchschnittlich feuchter als Typus B ist.		Typus B durchschnittlich wärmer als Typus C ist.		Typus A durchschnittlich feuchter als Typus C ist.	
Quartale bzw. Monate	Temperatur  Niederschlag 		Temperatur  Niederschlag 			
Interpretation	Die drei Hauptbeeinflussungsmuster A, B und C umfassen 54% aller untersuchten Jahre zwischen 1901 und 1979. Die Typen A und B weisen ein Muster auf, das zwischen horizontaler und vertikaler Gliederung verläuft (vgl. Abbildung 40). Die für die gleichen Jahresgruppen berechneten Mittel der Indexwerte und des Intervalltrends stimmen vom generellen Diagramm-muster her überein. Die mittlere Abgrenzung der Einflussbereiche der beiden Extremstandorte (vgl. Tabelle 9) kann für die Typen A und B durchgeführt werden (41% aller Jahre). Die Indexwerte und der Intervalltrend ergeben dabei nicht immer die gleiche Zuordnung. Da die 'response functions' an beiden Extremstandorten signifikante Beziehungen zwischen der maximalen Dichte und den Temperaturen bzw. den Niederschlägen ergeben, folgt, dass sich das Zellwandwachstum an den trockenen und mittleren Beständen tiefer und mittlerer Höhenlage überwiegend niederschlags-sensitiv verhält. Am feuchten Tieflagenstandort zeigen sich Beziehungen zum tiefen und zum hohen Extremstandort. An den restlichen Standorten wird das Zellwandwachstum überwiegend durch die Temperaturen limitiert. Die Witterungsanalyse der Gruppen ergibt ähnliche Resultate wie die Einzeljahresanalyse. Die grossen Unterschiede im Reaktionsmuster der Bestände werden im Mittel durch die Temperaturen und die Niederschläge des späten Frühjahrs und des Sommers hervorgerufen. An Standorten, wo das Zellwandwachstum überwiegend durch den Wasserhaushalt gesteuert wird, spielen die Winter- und Frühjahrsniederschläge zusätzlich eine entscheidende Rolle.					

Jura, Schweiz: Dendroökologische Diagramme der maximalen Dichte (Abbildung 42)

Einzeljahresanalysen

Jahr/Typus	1912 A	1931 A	1954 C	1902 C
Dendroökologisches Diagramm				
Witterung	T N Bemerkungen	T N Bemerkungen	T N Bemerkungen	T N Bemerkungen
Klima- station Bern	I II III IV	I II III IV	I II III IV	I II III IV
Quartale	April sehr trocken August nass Oktober sehr nass	Juli und August sehr nass	Mai sehr trocken	Juni sehr trocken Juli trocken
Interpretation	A-Typen wegen generell kalt-feuchter Sommerwitterung. Der Sommer des Jahres 1912 ist kälter und trockener als der Sommer 1931. 1912 ist deshalb das Zellwandwachstum in allen Waldbeständen geringer als 1931. Sogar der Trockenstandort mittlerer Höhenlage weist 1912 eine temperaturbedingte Reduktion des Zellwandwachstums auf. 1931 profitieren alle Trockenstandorte vom erhöhten Wasserangebot und haben optimale Bedingungen.		Der Sommer 1954 ist kälter und feuchter als der Sommer 1902. Der Waldgrenzstandort und der feuchte Waldbestand mittlerer Höhenlage haben deshalb 1954 stärker eingeschränktes Zellwandwachstum als 1902. Ferner ist die maximale Dichte im Jahre 1902 am trockenen Tieflagenstandort geringer als 1954, was auf den erhöhten Wasserstress im Juni und Juli 1902 zurückzuführen ist.	

Jahr/Typus	1942 D	1947 B	1921 B	1923 B
Dendroökologisches Diagramm				
Witterung	T N Bemerkungen	T N Bemerkungen	T N Bemerkungen	T N Bemerkungen
Quartale	I II III IV	I II III IV	I II III IV	I II III IV
	August sehr trocken		Mai sehr nass Juni sehr trocken Juli sehr trocken Oktober sehr warm	Mai sehr nass Juni sehr trocken
Interpretation	Das Zellwandwachstum ist an der oberen Waldgrenze wegen den hohen Sommertemperaturen optimal. Der sehr trockene August wirkt sich aber offenbar in den Tieflagen nicht wachstumshemmend aus.	B-Typen wegen generell warm-trockener Sommerwitterung. Die in allen Jahren günstigen Temperaturbedingungen wirken sich in den feuchten und hochgelegenen Beständen in einem optimalen Zellwandwachstum aus, während die trockenen Standorte unter Wasserstress leiden. Das trockenste und wärmste Jahr 1947 trennt Trocken- und Feuchtstandorte messerscharf. Im Jahr 1921 sind nur noch zwei Monate sehr trocken (Juni und Juli), was beim Trockenstandort mittlerer Höhenlage zu höheren Dichtewerten als 1947 führt.		

Gruppenanalysen (Fortsetzung Abbildung 42)

Typus	A (Kalt-feucht)		C (Kalt-trocken)	B (Warm-trocken)
Gemittelte Jahre	n= 16 (20% aller Jahre von 1901 - 1982)		n= 5 (6% aller Jahre von 1901 - 1982)	n= 15 (18% aller Jahre von 1901 - 1982)
Dendroökologisches Diagramm	Gruppenmittel: Indexwerte			
	Gruppenmittel: Intervall-trend			
Witterung Bern	Differenzen zwischen dem durchschnittlichen Witterungsverlauf von je zwei Jahresgruppen. Die gerasterten Flächen kennzeichnen jene Monate, in denen			
	Typus B durchschnittlich wärmer als Typus A ist.		Typus A durchschnittlich feuchter als Typus B ist.	Typus B durchschnittlich wärmer als Typus C ist.
Quartale bzw. Monate	Typus A durchschnittlich feuchter als Typus B ist.		Typus B durchschnittlich wärmer als Typus C ist.	Typus A durchschnittlich feuchter als Typus C ist.
	Temperatur		Niederschlag	Temperatur
	Niederschlag			
	Temperatur		Niederschlag	
Interpretation	Die drei Hauptbeeinflussungsmuster A, B und C umfassen lediglich 44% aller untersuchten Jahre zwischen 1901 und 1982. Besonders bemerkenswert ist, dass sich die Muster der Gruppenmittel sehr klar voneinander unterscheiden lassen. Die Typen A und B weisen eine stark vertikale Gliederung auf (vgl. Abbildung 40). Die für die gleichen Jahresgruppen berechneten Mittel der Indexwerte und des Intervalltrends stimmen vom Diagrammmuster her genau überein.			
	Die mittlere Abrenzung der Einflussbereiche der beiden Extremstandorte (vgl. Tabelle 9) kann für die Typen A und B erfolgen (38% aller Jahre). Die Indexwerte und der Intervalltrend ergeben nicht überall die gleiche Zuordnung. Da die 'response functions' an beiden Extremstandorten signifikante Beziehungen zwischen der maximalen Dichte und den Temperaturen bzw. den Niederschlägen ergeben, folgt, dass die maximale Dichte in den feuchten Beständen überwiegend von den Temperaturen limitiert wird. Der Trockenstandort mittlerer Höhenlage ist sowohl temperatur- als auch niederschlagssensitiv.			
	Die Witterungsanalyse der Gruppen ergibt ähnliche Resultate wie die Einzeljahresanalyse. Die grossen Unterschiede im Reaktionsmuster werden im Mittel durch die Temperaturen und die Niederschläge des Frühjahrs und des Sommers hervorgerufen. Die Hauptbeeinflussungszeit der Witterung entspricht etwa derjenigen der Walliser Standorte.			

Front Range, USA: Dendroökologische Diagramme der maximalen Dichte (Abbildung 43).

Einzeljahresanalysen

Jahr/Typus	1967 A	1941 A	1938 C	1957 C
Dendroökologisches Diagramm				
Witterung	T N Bemerkungen	T N Bemerkungen	T N Bemerkungen	T N Bemerkungen
Klimastation	I ● ●	● ●	● ●	● ●
Denver	II ○ ● Juni sehr kalt Mai nass August kalt und trocken	● ● Mai sehr warm August kühl September kalt	● ● Mai kühl Juli kühl und trocken August trocken	○ ● Juni trocken Juli leicht zu trocken
Quartale	III ○ Juli sehr nass September trocken	○ ● Oktober kalt	○ ●	● September trocken
IV ●			○ ○	
Interpretation	A-Typen wegen kalt-feuchter Sommerwitterung und zum Teil Frühjahrswitterung. 1967 bietet für das Zellwandwachstum sowohl an der oberen als auch an der unteren Waldgrenze schlechtere Bedingungen als 1941. Offenbar wirkt sich an den temperatursensitiven Standorten die ab Mai 1967 herrschende Kälteperiode negativer auf das Zellwandwachstum aus als der Kälteeinbruch ab August 1941. Die leichte Trockenperiode im August und September 1967 beeinflusst die Trockenstandorte leicht negativ.		Teilweise unklar interpretierbare C-Typen. Im Jahre 1957 sind wahrscheinlich die trockenen Monate Juni und Juli für den Dichteabfall am trockenen Tieflagenstandort verantwortlich. Die im Juli und August 1938 auftretende, leichte Trockenperiode wirkt sich nur am trockenen Tieflagenstandort negativ aus. Das allgemein kalte Frühjahr 1957 schränkt die maximale Dichte an der oberen Waldgrenze offenbar mehr ein als die leicht unterdurchschnittlichen Sommertemperaturen des Jahres 1938.	

Jahr/Typus	1920 C, (A)	1962 D	1954 B	1934 B
Dendroökologisches Diagramm				
Witterung	T N Bemerkungen	T N Bemerkungen	T N Bemerkungen	T N Bemerkungen
Quartale	I ○ ○	○ ○	● ○	● ●
II ○ ○	● ●	● ○	● ○	● ○
III ○ ○	● ○	● ○	● ○	● ○
IV ○ ○	● ○	● ○	● ○	● ○
Interpretation	Die tiefen Sommertemperaturen reduzieren das Zellwandwachstum in den Hochlagen. Das Niederschlagsdefizit schränkt das Wachstum am trockenen Tieflagenstandort ein.	Die warme Sommerwitterung erklärt die hohen Dichtewerte in den Hochlagen und an den feuchten Standorten. Das optimale Wachstum an den Trockenstandorten steht hingegen in keiner Beziehung zur sommerlichen Trockenheit.	B-Typen wegen warm-trockener Frühjahrs- und Sommerwitterung. Die beiden Dichtemuster sind praktisch identisch. Die ausgeprägtere Sommertrockenheit des Jahres 1934 (extremstes Trockenjahr in den Prärien, HAGGETT, 1979) vermag den Trockenstandort mittlerer Höhenlage in diesem Jahr stärker negativ zu beeinflussen als 1954. Im Bereich der unteren Waldgrenze sind in den extremen Trockenjahren keine standörtlichen Unterschiede mehr feststellbar.	Juni sehr trocken Juli sehr trocken

Gruppenanalysen (Fortsetzung Abbildung 43)

Typus	A (Kalt-feucht)		C (Kalt-trocken)	B (Warm-trocken)
Gemittelte Jahre	n= 22 (27% aller Jahre von 1900 - 1982)		n= 9 (11% aller Jahre von 1900 - 1982)	n= 19 (23% aller Jahre von 1900 - 1982)
Dendroökologisches Diagramm				
Gruppenmittel: Indexwerte				
Gruppenmittel: Intervall-trend				
Witterung Denver	Differenzen zwischen dem durchschnittlichen Witterungsverlauf von je zwei Jahresgruppen. Die gerasterten Flächen kennzeichnen jene Monate, in denen Typus B durchschnittlich wärmer als Typus A ist. Typus A durchschnittlich feuchter als Typus B ist. Typus B durchschnittlich wärmer als Typus C ist. Typus A durchschnittlich feuchter als Typus C ist. Temperatur Niederschlag Temperatur Niederschlag Quartale bzw. Monate			
Interpretation	Die drei Hauptbeeinflussungsmuster A, B und C umfassen 61% aller untersuchten Jahre zwischen 1900 und 1982. Die Typen A und B weisen ein Muster auf, das zwischen vertikaler und horizontaler Gliederung verläuft (vgl. Abbildung 40). Die für die gleichen Jahresgruppen berechneten Mittel der Indexwerte und des Intervalltrends stimmen vom generellen Diagramm-muster her überein. Die mittlere Abgrenzung der Einflussbereiche der beiden Extremstandorte (vgl. Tabelle 9) kann für die Typen A und B erfolgen (50% aller Jahre). Die Indexwerte und der Intervall-trend ergeben dabei überall die gleiche Zuordnung. Da die 'response functions' an beiden Extremstandorten signifikante Beziehungen zwischen der maximalen Dichte und den Temperaturen bzw. den Niederschlägen ergeben, folgt, dass sich das Zellwandwachstum an den beiden Tieflagenstandorten und am trockenen Standort mittlerer Höhenlage überwiegend niederschlagssensitiv verhält. An den restlichen Standorten verhält sich die maximale Dichte überwiegend temperatursensitiv. Die Witterungsanalyse der Gruppen ergibt ähnliche Resultate wie die Einzeljahresanalyse. Die grossen Unterschiede im Reaktionsmuster werden im Mittel durch die Temperaturen und die Niederschläge des späten Frühjahrs und des Frühsommers hervorgerufen. Gegenüber den Walliser Standorten ist die Hauptbeeinflussungszeit der Witterung um ein bis zwei Monate vorver-schoben.			

Troodosgebirge, Zypern: Dendroökologische Diagramme der maximalen Dichte (Abbildung 44).

Einzeljahresanalysen

Jahr/Typus	1949A	1948A	1967A	1971C, (D)
Dendroökologisches Diagramm				
Witterung	T N Bemerkungen	T N Bemerkungen	T N Bemerkungen	T N Bemerkungen
Klima-station I	○ ○	○ März sehr kalt	○ ●	●
Nicosia II	○	○ ●	○ ●	● April sehr kalt
Quartale III	○	●	○	○ ●
IV	●	○ Oktober und November trocken	○ ○	○ ○
Interpretation	A-Typen wegen kalt-feuchter Frühjahrswitterung (1948, 1967) oder kalter Winter- und Spätsommerwitterung (1949). Vom Dichtemuster her unterscheidet sich die Jahresgruppe 1948 und 1949 deutlich von 1967. Bei den ersten beiden Jahren werden die Standorte klar in eine obere und eine untere Gruppe eingeteilt, während 1967 eine höhenunabhängige Trennung nach Standortsfeuchtigkeiten vorliegt. Die Witterung des ersten, zweiten und eventuell des vierten Quartals beeinflusst das Zellwandwachstum am entscheidendsten. Einige Reaktionen bleiben aber unklar. So ist zum Beispiel der Winter und das Frühjahr des Jahres 1967 kälter als 1949. Trotzdem sind aber 1967 die Wachstumsverhältnisse an der oberen Waldgrenze optimaler als 1949.			Teilweise unklar interpretierbarer C- bis D-Typus. Die kalte Sommer- und Herbstwitterung hat kaum Einfluss auf die Waldgrenzstandorte. Der warme Winter und das feuchte Frühjahr bewirken offenbar ausgeglichenes Zellwandwachstum an allen Standorten.

Jahr/Typus	1977D	1961B	1973B, (C)	1928B
Dendroökologisches Diagramm				
Witterung	T N Bemerkungen	T N Bemerkungen	T N Bemerkungen	T N Bemerkungen
Quartale I		○ ○	○ ○	○ ●
II		○	○ ○ Juni kühl und feucht	● ● ○ März trocken
III		○ Juli und August warm	○ ○ Juli und August kühl	● ●
IV		●	○	
Interpretation	Keine klimatologischen Aufzeichnungen vorhanden.	Teilweise unklar interpretierbare B-Typen. 1961 weist wie 1967 (siehe oben) eine höhenunabhängige Gliederung der Dichtewerte nach Standortsfeuchtigkeiten auf, während 1928 eher horizontal gegliedert ist. Die extremste Trockenperiode weist das Jahr 1973 auf (MEIKLE, 1977). Die fehlenden Winter- und Frühjahrsniederschläge führen vermutlich zu einem unaufgefüllten Bodenwasserreservoir. Dadurch wird die maximale Dichte an den trockenen und mittleren Standorten bis in grosse Meereshöhen reduziert. Ein kühler Juni, Juli und August schränkt zudem das Wachstum an der oberen Waldgrenze ein. Das Jahr 1928 ist sehr warm, was an den temperatursensitiven Standorten zu optimalen Bedingungen führt.		

Gruppenanalysen (Fortsetzung Abbildung 44)

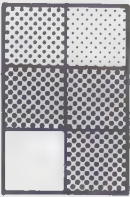
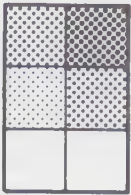
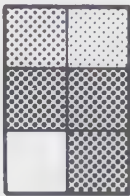
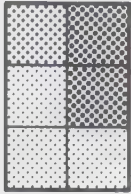
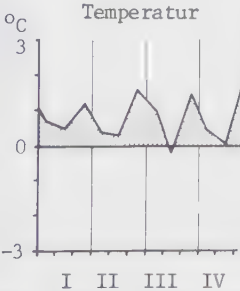
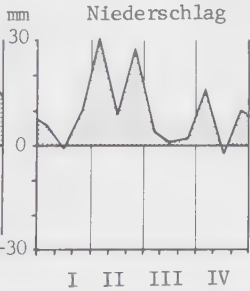
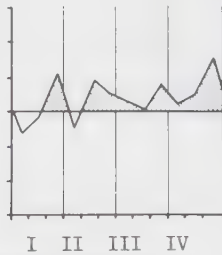
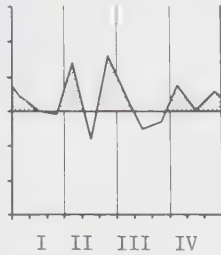
Typus	A (Kalt-feucht)		C (Kalt-trocken)	B (Warm-trocken)
Gemittelte Jahre	n= 21 (26% aller Jahre von 1900 - 1981)		n= 8 (10% aller Jahre von 1900 - 1981)	n= 19 (23% aller Jahre von 1900 - 1981)
Dendroökologisches Diagramm				
Witterung Nicosia	Differenzen zwischen dem durchschnittlichen Witterungsverlauf von je zwei Jahresgruppen. Die gerasterten Flächen kennzeichnen jene Monate, in denen Typus B durchschnittlich wärmer als Typus A ist. Quartale bzw. Monate Typus A durchschnittlich feuchter als Typus B ist. I II III IV Typus B durchschnittlich wärmer als Typus C ist. I II III IV Typus A durchschnittlich feuchter als Typus C ist. I II III IV			
Interpretation	Die drei Hauptbeeinflussungsmuster A, B und C umfassen 59% aller untersuchten Jahre zwischen 1900 und 1981. Die Muster der Gruppenmittel sind nicht klar voneinander unterscheidbar. Die Typen A und B weisen ein mehrheitlich horizontales Muster auf (vgl. Abbildung 40). Die für die gleichen Jahresgruppen berechneten Mittel der Indexwerte und des Intervalltrends stimmen vom generellen Diagrammmuster her überein. Sehr viele Standorte scheinen aber diffus beeinflusst zu sein, was die bereits in der Einzeljahresanalyse festgestellte, schwierige dendroökologische Interpretierbarkeit noch verstärkt. Die mittlere Abgrenzung der Einflussbereiche der beiden Extremstandorte wird angesichts der undeutlich ausgebildeten Diagrammmuster nicht durchgeführt. Die Witterungsanalyse der Gruppen ergibt zum Teil ähnliche Resultate wie die Einzeljahresanalyse. Trotz der geringen Differenzen zwischen dem Witterungsverlauf der Gruppen können die Unterschiede im Reaktionsmuster der Standorte auf die Temperatur- bzw. Niederschlagsunterschiede des ersten, zweiten und vierten Quartals zurückgeführt werden. Das dritte, praktisch in jedem Jahr niederschlagsfreie Quartal (vgl. Abbildung 17) beeinflusst das Zellwandwachstum durchschnittlich weder in Tieflagen noch an der oberen Waldgrenze.			

Front Range, USA: Dendroökologische Diagramme der Jahrringbreite (Abbildung 45)
Einzeljahresanalysen

Jahr/Typus	1969A	1967A	1932C	1982C
Dendroökologisches Diagramm				
Witterung	T N Bemerkungen	T N Bemerkungen	T N Bemerkungen	T N Bemerkungen
Klima-station	I ● ○	● ●	○	○
Denver	II ● ●	○ ●	● ○	○ ●
Quartale	III ● ●	○	● ○	○
	IV ●	●	○ ○	○ ○
Interpretation	1967 verhalten sich die Jahrringbreiten an den verschiedenen Standorten sehr typisch und bieten keine Interpretationsschwierigkeiten. 1969 ist das Jahrringbreitenwachstum am tiefen Trockenstandort und in mittleren Höhenlagen optimal. Vermutlich wirken sich die hohen Niederschläge im Mai und Juni wachstumsfördernd aus und die Trockenheit des dritten Quartals wird dadurch ausgeglichen. Die Reaktion des feuchten Waldgrenzstandortes ist unklar. Vielleicht wirkt sich das Vorjahr negativ aus.		1982 korrespondiert das Jahrringwachstum klar mit dem Witterungsverlauf. Das kalte Frühjahr und der trockene Sommer vermögen die Vitalität der Bäume an der oberen Waldgrenze bzw. am unteren Trockenstandort einzuschränken. 1932 ist allgemein wärmer und trockener als 1982. Daher würde man einen B-Typus erwarten. Im Jahrringbild bestätigt sich diese Hypothese mit Ausnahme des oberen feuchten Waldgrenzstandortes. Sein klimatisch unerklärbares Verhalten führt zu einem C-Typus.	

Jahr/Typus	1949D	1966B	1925B	1954B
Dendroökologisches Diagramm				
Witterung	T N Bemerkungen	T N Bemerkungen	T N Bemerkungen	T N Bemerkungen
Quartale	I ○ ●	○	● ○	● ○
	II ● ●	● ○	● ○	● ○
	III ● ○	● ○	○	● ○
	IV ● ○	● ○	○	● ○
Interpretation	Die warme Witterung während der Vegetationsperiode wirkt sich auf das Breitenwachstum der Waldgrenzstandorte optimal aus. Die erst sehr spät einsetzende Trockenperiode (August und September) vermag die Jahrringbreite in den trockenen Tieflagen nicht mehr einzuschränken.		Drei charakteristische B-Typen wegen warm-trockener Frühjahrs- und zum Teil Sommerwitterung. In allen drei Jahren sind die Frühjahrs- und Frühsommerniederschläge für das Jahrringbreitenwachstum in den Tieflagen sehr entscheidend. 1954 vermag die Trockenheit die Jahrringbreite sogar am trockenen Waldgrenzstandort zu limitieren. Der feuchte Waldgrenzstandort hat dagegen in diesem Jahr wegen eines sehr warmen Sommers optimale Bedingungen.	

Gruppenanalysen (Fortsetzung Abbildung 45)

Typus	A (Kalt-feucht)	C (Kalt-trocken)	B (Warm-trocken)
Gemittelte Jahre	n= 20 (24% aller Jahre von 1900 - 1982)	n= 12 (14% aller Jahre von 1900 - 1982)	n= 20 (24% aller Jahre von 1900 - 1982)
Dendroökologisches Diagramm			
Gruppenmittel: Indexwerte			
Gruppenmittel: Intervall-trend			
Witterung Denver	Differenzen zwischen dem durchschnittlichen Witterungsverlauf von je zwei Jahresgruppen. Die gerasterten Flächen kennzeichnen jene Monate, in denen Typus B durchschnittlich wärmer als Typus A ist. Typus A durchschnittlich feuchter als Typus B ist. Typus B durchschnittlich wärmer als Typus C ist. Typus A durchschnittlich feuchter als Typus C ist.		
Quartale bzw. Monate	Temperatur  Niederschlag  Temperatur  Niederschlag 		
Interpretation	Die drei Hauptbeeinflussungsmuster A, B und C umfassen 62% aller untersuchten Jahre zwischen 1900 und 1982. Die Typen A und B weisen eine stark horizontale Gliederung auf (vgl. Abbildung 40). Die für die gleichen Jahresgruppen berechneten Mittel der Indexwerte und des Intervalltrends stimmen vom generellen Diagrammmuster her überein. Die mittlere Abgrenzung der Einflussbereiche der beiden Extremstandorte (vgl. Tabelle 9) kann für die Typen A und B durchgeführt werden (48% aller Jahre). Die Indexwerte und der Intervalltrend ergeben dabei nicht immer die gleiche Zuordnung. Da die 'response functions' am trockenen Tieflagenstandort durchschnittlich signifikante Beziehungen zwischen der Jahrringbreite und den Niederschlägen ergeben, folgt, dass das Jahrringbreitenwachstum an allen Trockenstandorten und am feuchten Tieflagenstandort überwiegend von den Niederschlägen limitiert wird. Der Extremstandort an der oberen Waldgrenze weist durchschnittlich keine signifikanten Beziehungen zu den Temperaturen auf. Dies schliesst aber nicht aus, dass in bestimmten Einzeljahren eine Wachstumsbegrenzung durch die Temperaturen besteht. Unter den genannten Bedingungen werden aber keine Angaben zur Temperaturabhängigkeit einzelner Standorte gemacht. Die Witterungsanalyse der Gruppen ergibt ähnliche Resultate wie die Einzeljahresanalyse. Die grossen Unterschiede im Reaktionsmuster werden durch die Temperaturen und die Niederschläge der gesamten Vegetationsperiode hervorgerufen, wobei der Temperatureinfluss erwartungsgemäss geringer ist als der Niederschlagseinfluss.		

Troodosgebirge, Zypern: Dendroökologische Diagramme der Jahrringbreite (Abbildung 46).
Einzeljahresanalysen

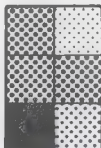
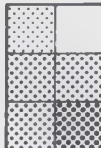
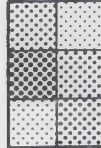
Jahr/Typus	1949	A	1963	A	1958	C	1964	C
Dendroökologisches Diagramm								
Witterung	T	N	Bemerkungen		T	N	Bemerkungen	
Klima- sta- tion Nicosia Quartale	I	○	Mai sehr warm und trocken	●	○	Juni kühl Juli kalt August warm	○	März und April leicht zu trocken
	II	○		○	○			
	III	○		●	○			
	IV	●		●	○			
				●	○			
Inter- pretation	Die beiden A-Typen unterscheiden sich folgendermassen: 1949 ist generell kälter und trockener als 1963. 1949 führt ein kalter Winter und Spätsommer zu eingeschränktem Wachstum in allen Hoch- und Mittellagen. Ein trockenes Frühjahr reduziert zudem das Wachstum in den trockenen Tieflagen. 1963 reduziert vermutlich das kalte zweite Quartal die Jahrringbreite in den Hochlagen. Die Tieflagenstandorte profitieren vom durchschnittlichen Niederschlagsangebot.				1964 weist ein kälteres erstes und zweites Quartal auf als 1958. 1964 ist deshalb die Jahrringbreite in den temperatursensitiven Beständen stärker reduziert als 1958. Die kurze Kälteperiode im Juni und Juli 1958 vermag das Wachstum an der oberen Waldgrenze eventuell etwas einzuschränken. 1958 wirkt sich hingegen das ganzjährige Niederschlagsdefizit an den tiefer gelegenen Trockenstandorten in einer Wachstumshemmung aus.			

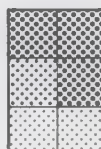
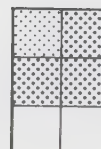
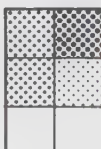
Jahr/Typus	1921	B	1934	B	1928	B	1973	B		
Dendroökologisches Diagramm	 * keine Daten		 * keine Daten		 * keine Daten		 * keine Daten			
Witterung	T	N	Bemerkungen		T	N	Bemerkungen			
Quartale	I	○	Februar sehr nass		○	●	März trocken		○	Juni kühl und feucht Juli und August kühl
	II	○			●	○			○	
	III	●			○	○			○	
	IV	○			●	○			○	
Interpretation	Ausser dem tiefen Trockenstandort weisen alle Standorte optimale Bedingungen auf, was mit den Witterungsbedingungen der laufenden Vegetationsperiode nicht erklärbar ist.				B-Typen wegen mehrheitlich warm-trockener Witterung (1973: kühl, sehr trocken). Am klarsten sind die Beziehungen zwischen der Witterung und der Jahrringbreite im Jahre 1934. Im Jahre 1928 erklärt die Trockenperiode des zweiten Quartals die verminderte Wachstumsleistung an den Trockenstandorten. Die warme Frühjahrs- und Sommerwitterung steht aber in diesem Jahr im Widerspruch mit dem geringen Wachstum in den Hochlagen. Vermutet wird ein negativer Vorjahreseinfluss, da die entsprechenden Standorte bereits 1927 eingeschränktes Wachstum aufweisen. 1973 wird die Wachstumsleistung ebenfalls wegen Wasserstress bis in mittlere Höhenlagen reduziert. Unerklärbar bleiben die grossen Zuwachsleistungen in den höheren Lagen. Sie stehen im Widerspruch zur kühlen Witterung der laufenden Vegetationsperiode.					

Gruppenanalysen (Fortsetzung Abbildung 46)

Typus	A (Kalt-feucht)	C (Kalt-trocken)	B (Warm-trocken)
Gemittelte Jahre	n= 20 (24% aller Jahre von 1900 - 1981)	n= 12 (15% aller Jahre von 1900 - 1981)	n= 21 (26% aller Jahre von 1900 - 1981)
Dendroökologisches Diagramm			
Gruppenmittel: Indexwerte			
Gruppenmittel: Intervall-trend			
Witterung Nicosia	Differenzen zwischen dem durchschnittlichen Witterungsverlauf von je zwei Jahresgruppen. Die gerasterten Flächen kennzeichnen jene Monate, in denen		
	Typus B durchschnittlich wärmer als Typus A ist.	Typus A durchschnittlich feuchter als Typus B ist.	Typus B durchschnittlich wärmer als Typus C ist.
	Typus A durchschnittlich feuchter als Typus C ist.		
Quartale bzw. Monate			
Interpretation	Die drei Hauptbeeinflussungsmuster A,B und C umfassen 65% aller untersuchten Jahre zwischen 1900 und 1981. Die Muster der Gruppenmittel sind klarer voneinander unterscheidbar als bei der maximalen Dichte. Die Typen A und B weisen eine mehrheitlich horizontale Gliederung auf (vgl. Abbildung 40). Die für die gleichen Jahresgruppen berechneten Mittel der Indexwerte und des Intervalltrends stimmen vom generellen Diagrammmuster her überein. Die mittlere Abgrenzung der Einflussbereiche der beiden Extremstandorte (vgl. Tabelle 9) kann für die Typen A und B durchgeführt werden (50% aller Jahre). Die Indexwerte und der Intervalltrend ergeben dabei nicht immer die gleiche Zuordnung. Da die 'response functions' an beiden Extremstandorten durchschnittlich signifikante Beziehungen zwischen der Jahrringbreite und den Temperaturen bzw. den Niederschlägen ergeben, folgt, dass sich das Jahrringbreitenwachstum an den obersten sechs Standorten und am Trockenstandort mittlerer Höhenlage überwiegend temperatursensitiv verhält. Die Niederschläge und andere Faktoren wirken aber stark modifizierend. Ueberwiegend niederschlagssensitiv verhält sich die Jahrringbreite an den beiden untersten Standorten und am mässig feuchten Standort mittlerer Höhenlage. Der feuchte Waldbestand mittlerer Höhenlage ist im Mittel sowohl temperatur- als auch niederschlagssensitiv. Die Witterungsanalyse ergibt praktisch die gleichen Resultate wie bei der maximalen Dichte (vgl. Abbildung 44).		

Front Range, USA: Dendroökologische Diagramme der Spätholzbreite (Abbildung 47).
Einzeljahresanalysen

Jahr/Typus	1971A	1967A	1920C	1974C
Dendroökologisches Diagramm				
Witterung	T N Bemerkungen	T N Bemerkungen	T N Bemerkungen	T N Bemerkungen
Klima- station I	○ ○	● ●		●
Denver II	●	○ ●	○ ○	●
Quartale III	○	○	○ ○	○
IV	○ ○	●	○ ○	○ ●
Bemerkungen	Juni warm und sehr nass September sehr nass	Juni sehr kalt Mai nass August kalt und trocken Juli sehr nass September trocken		Mai sehr trocken August und September trocken
Interpretation	1967 bietet für beide Extremalstandorte relativ schlechte Bedingungen. Das reduzierte Wachstum am trockenen Tieflagenstandort ist eventuell auf den trockenen August und September zurückzuführen, während die bereits ab Mai 1967 einsetzende Kälteperiode das Spätholzbreitenwachstum an der oberen Waldgrenze sehr stark einschränkt. Der feuchte Sommer und das kalte dritte Quartal des Jahres 1971 wirken sich am trockenen Tieflagenstandort besonders positiv aus, während das Wachstum an der oberen Waldgrenze gehemmt ist.		Das Spätholzbreitenmuster des Jahres 1920 ist mit dem Witterungsverlauf klar in Beziehung zu bringen. Die kalt-trockene Sommer- und Herbstwitterung reduziert das Spätholzbreitenwachstum an beiden Extremstandorten. 1974 bewirken die trockenen Monate August und September und ein kühler Sommer ein C-Muster. Die feuchten Standorte mittlerer und tiefer Höhenlage haben 1920 ein optimaleres Wachstum als 1974.	

Jahr/Typus	1962D	1958B	1925B	1954B
Dendroökologisches Diagramm				
Witterung	T N Bemerkungen	T N Bemerkungen	T N Bemerkungen	T N Bemerkungen
Quartale I	○ ○	●	● ○	● ○
II	● ○	● ●	● ○ ○	● ○ ○
III	● ○	●		● ○
IV	● ○	● ○	○	● ○
Bemerkungen		August und September trocken	August kühl und trocken	Juli feucht
Interpretation	Dendroökologisch unklar interpretierbarer D-Typus (vgl. Abbildung 43). Die warme Sommerwitterung erklärt das optimale Wachstum in den Feuchtlagen. Die Trockenstandorte verhalten sich jedoch atypisch.		1954 ist das Spätholzbreitenwachstum an den Trockenstandorten bis an die obere Waldgrenze wegen Niederschlagsstress eingeschränkt. Die kühle Augustwitterung des Jahres 1925 bewirkt vermutlich eingeschränktes Wachstum an den feuchten Standorten der oberen Waldgrenze. Deutlich erkennbar ist bei allen Jahrringmustern, dass die standörtliche Variabilität an der unteren Waldgrenze in Trockenjahren minimal ist. Der grosse Wasserstress wirkt sich offenbar unabhängig vom Standort wachstumshemmend aus. Auch feuchte Lagen vermögen das Wasserdefizit in Trockenjahren nicht mehr wettzumachen.	

Gruppenanalysen (Fortsetzung Abbildung 47)

Typus	A (Kalt-feucht)	C (Kalt-trocken)	B (Warm-trocken)
Gemittelte Jahre	n= 18 (22% aller Jahre von 1900 - 1982)	n= 11 (13% aller Jahre von 1900 - 1982)	n= 20 (24% aller Jahre von 1900 - 1982)
Dendroökologisches Diagramm			
Gruppenmittel: Indexwerte			
Gruppenmittel: Intervall-trend			
Witterung Denver	Differenzen zwischen dem durchschnittlichen Witterungsverlauf von je zwei Jahresgruppen. Die gerasterten Flächen kennzeichnen jene Monate, in denen Typus B durchschnittlich wärmer als Typus A ist. Typus A durchschnittlich feuchter als Typus B ist. Typus B durchschnittlich wärmer als Typus C ist. Typus A durchschnittlich feuchter als Typus C ist.		
Quartale bzw. Monate	Temperatur Niederschlag Temperatur Niederschlag 		
Interpretation	Die drei Hauptbeeinflussungsmuster A, B und C umfassen 59% aller untersuchten Jahre zwischen 1900 und 1982. Die Typen A und B sind stärker horizontal gegliedert als bei der maximalen Dichte aber schwächer als bei der Jahrringbreite (vgl. Abbildungen 40, 43, und 45). Die für die gleichen Jahresgruppen berechneten Mittel der Indexwerte und des Intervalltrends stimmen vom generellen Diagrammmuster her überein. Die mittlere Abgrenzung der Einflussbereiche der beiden Extremstandorte (vgl. Tabelle 9) kann für die Typen A und B durchgeführt werden (46% aller Jahre). Die Indexwerte und der Intervalltrend ergeben dabei nicht immer die gleiche Zuordnung. Da die 'response functions' an beiden Extremstandorten signifikante Beziehungen zwischen der Spätholzbreite und den Temperaturen bzw. den Niederschlägen ergeben, folgt, dass sich die Spätholzbreite an den beiden Hochlagenstandorten überwiegend temperatursensitiv verhält, während in den restlichen Beständen die Niederschlagsabhängigkeit mehr oder weniger vorherrscht. In diesem Sinne nimmt die Spätholzbreite eine Mittelstellung zwischen der Jahrringbreite und der maximalen Dichte ein. Die Witterungsanalyse entspricht ziemlich genau derjenigen der maximalen Dichte (vgl. Abbildung 43). Die dendroklimatologische Ähnlichkeit zwischen der maximalen Dichte und der Spätholzbreite ist damit belegt.		

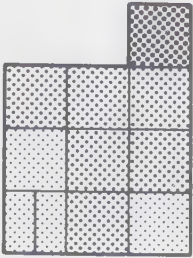
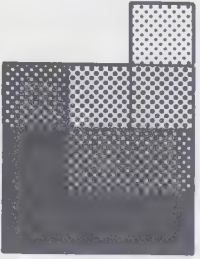
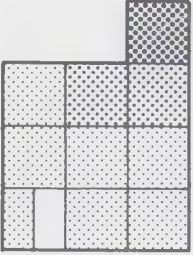
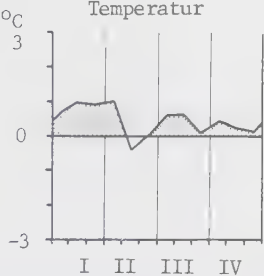
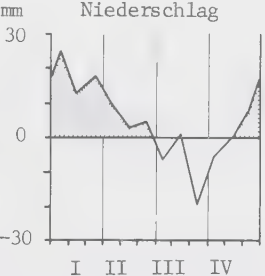
Walliser Rhonetal, Schweiz: Dendroökologische Diagramme der minimalen Dichte (Abbildung 48)

Einzeljahresanalysen

Jahr/Typus	1976 A	1974 A	1928 Inverser C-Typus	1932 Inverser C-Typus
Dendroökologisches Diagramm				
Witterung	T N Bemerkungen	T N Bemerkungen	T N Bemerkungen	T N Bemerkungen
Klima- station Sitten Quartale	I II III IV	I II III IV	I II III IV	I II III IV
Interpretation	Die beiden charakteristischen A-Typen unterscheiden sich im Witterungsverlauf und im Dichtemuster klar. Eventuell führt der überaus warme Winter des Jahres 1974 an den höher gelegenen, feuchten und mittleren Standorten zu den beobachteten, tiefen Werten der minimalen Dichte. Die Trockenheit im April bewirkt an den trockenen und mittleren Standorten in tiefer und mittlerer Höhenlage hohe Werte. Im Trockenjahr 1976 wirken sich die geringen Niederschläge in einer übermässigen erhöhten minimalen Dichte aus.		1932 ist dendroökologisch klarer interpretierbar als 1928. Tiefe Temperaturen und geringe Niederschläge im ersten und zweiten Quartal des Jahres 1932 bewirken an den feuchten Standorten und an den trockenen Tieflagenstandorten erhöhte Dichtewerte, während die Standorte im Übergangsbereich tiefe Werte aufweisen. 1928 erklärt der kalte Frühling die grösseren Dichtewerte an der oberen Waldgrenze. Die in den trockenen Tieflagen hohen minimalen Dichten des Jahres 1928 sind vermutlich dem trockenen Juni und Juli zuzuschreiben.	

Jahr/Typus	1947 C	1920 D	1978 B	1963 B
Dendroökologisches Diagramm				
Witterung	T N Bemerkungen	T N Bemerkungen	T N Bemerkungen	T N Bemerkungen
Quartale	I II III IV	I II III IV	I II III IV	I II III IV
Interpretation	Die warme Frühjahrswitterung erklärt die verminderte Dichte an der oberen Waldgrenze. Die geringen Werte an den Trockenstandorten sind mit der Niederschlagsarmut dieses Jahres nicht in Einklang zu bringen.	Dendroökologisch unklar interpretierbarer D-Typus. Die trockenen Bedingungen des zweiten Quartals führen vermutlich zu hohen Dichtewerten an den Trockenstandorten. Die hohen Werte in den Hochlagen sind von der Witterung her nicht erklärbar.	Ein feuchtes erstes Quartal bewirkt 1978 tiefe Dichtewerte an den Trockenstandorten. 1963 sind die tiefen Dichtewerte eventuell mit dem nassen März und dem feuchten Juni erklärbar. Ein kaltes erstes Quartal (1963) und ein kaltes zweites Quartal (1978) erhöhen an den temperatursensitiven Standorten die minimale Dichte. Im Dichtemuster des Jahres 1963 ist diese Tendenz klarer erkennbar als 1978.	

Gruppenanalysen (Fortsetzung Abbildung 48)

Typus	A (Warm-trocken)		C und inverser C-Typus	B (Kalt-feucht)
Gemittelte Jahre	n= 15 (19% aller Jahre von 1901 - 1979)		Nicht auswertbar, da zu kleine Anzahl Jahre	n= 20 (25% aller Jahre von 1901 - 1979)
Dendroökologisches Diagramm				
Gruppenmittel: Indexwerte				
Gruppenmittel: Intervall-trend				
Witterung Sitten	Differenzen zwischen dem durchschnittlichen Witterungsverlauf von je zwei Jahresgruppen. Die gerasterten Flächen kennzeichnen jene Monate, in denen Typus A durchschnittlich wärmer als Typus B ist. Typus B durchschnittlich feuchter als Typus A ist. Temperatur  Niederschlag 			
Quartale bzw. Monate				
Interpretation	Die beiden Hauptbeeinflussungsmuster A und B umfassen 44% aller untersuchten Jahre zwischen 1901 und 1979. Trotz dem flachen Verlauf der Kurven der minimalen Dichte sind die Muster der Gruppenmittel der Typen A und B relativ klar voneinander unterscheidbar. Der Typus B ist aber schwach ausgebildet. Nebst den beiden erwähnten Typen kommt noch der Typus C und ein zu ihm inverser Typus vor. Die Typen A und B weisen ein Muster auf, das zwischen horizontaler und vertikaler Gliederung verläuft (vgl. Abbildung 40). Die für die gleichen Jahresgruppen berechneten Mittel der Indexwerte und des Intervalltrends stimmen vom generellen Diagrammmuster her überein. Die mittlere Abgrenzung der Einflussbereiche der beiden Extremstandorte (vgl. Tabelle 9) kann für die beiden Typen A und B erfolgen. Die Indexwerte und der Intervalltrend ergeben dabei die gleiche Zuordnung. Da die 'response functions' am unteren Extremstandort signifikante Beziehungen zwischen der minimalen Dichte und den Niederschlägen ergeben, folgt, dass die minimale Dichte ausser am Waldgrenzstandort in allen anderen Beständen überwiegend niederschlagssensitiv ist. Eine Begrenzung durch die Temperaturen kann mit Hilfe der 'response functions' an keinem Standort nachgewiesen werden. Die Beziehungen zwischen der minimalen Dichte und der Witterung sind verglichen mit den anderen Jahrringparametern invers. So entspricht dem warm-trockenen Witterungstypus das dendroökologische Diagrammmuster A, die kalt-feuchte Witterung entspricht dem Typus B. Die Unterschiede im Reaktionsmuster der Standorte werden vor allem durch die Niederschläge des ersten und zweiten Quartals hervorgerufen. Die Temperaturen zeigen diese Tendenz ebenfalls, aber viel weniger ausgeprägt. Die minimale Dichte enthält folglich vor allem an niederschlagssensitiven Standorten gewisse dendroökologische Informationen. An temperatursensitiven Standorten ist sie wenig aussagekräftig.			

Die einzeljahresweise Analyse und Gruppierung der dendroökologischen Diagramme zeigt neue jahrringanalytische Wege auf. Die komplexen Wechselbeziehungen zwischen der Witterung, dem Standort, der Höhenlage und dem Jahrringwachstum können Jahr für Jahr erfasst werden. Erstaunlich hoch ist die Anzahl Jahre, die eine nach Standorten getrennte Analyse der Auswirkungen verschiedenster Witterungsabläufe erlauben. Die einzeljahresweise klimatische Analyse zeigt, dass der jahreszeitliche Einfluss der Witterung von Jahr zu Jahr stark schwankt und zum Teil beträchtlich von den mittleren Hauptbeeinflussungsmonaten abweichen kann.

Eignung der Untersuchungsräume und Jahrringparameter. Die beschriebene Methode erbringt in sämtlichen Untersuchungsräumen dendroökologische Resultate. Während im Walliser Rhonetal, im Jura und in der Front Range klare Aussagen möglich sind, ergeben die zypriotischen Standorte zum Teil schlecht interpretierbare Ergebnisse. Die maximale Dichte eignet sich für die Untersuchungen generell besser als die Jahrringbreite. Auch hier macht der Untersuchungsraum Zypern eine Ausnahme. Die Jahrringbreite erlaubt an diesen Standorten klarere Aussagen als die maximale Dichte.

Dendroökologische Diagrammmuster. In den warmen und trockenen Klimaregionen weisen die Diagramme eher horizontale Muster auf, während kühlere und feuchtere Klimaregionen vermehrt vertikale Muster haben. Die Diagrammmuster sind ferner stark von den Jahrringparametern abhängig. Die maximale Dichte weist vermehrt eine vertikale Gliederung auf, während die Jahrringbreite und die Spätholzbreite häufig horizontal gegliedert sind.

Standörtliche Einflussbereiche des temperatur- bzw. niederschlagssensitiven Wachstums. Die Auswirkungen der Witterung auf das Jahrringwachstum sind sehr stark von den Standortverhältnissen abhängig. Die Beeinflussung durch die Höhenlage tritt oft in den Hintergrund. So wird die kambiiale Aktivität von Bäumen an Trockenstandorten in niederschlagsarmen Jahren häufig bis in den subalpinen Bereich durch die Niederschläge limitiert. Kältejahre reduzieren hingegen das Wachstum von Bäumen aus feuchten Beständen oft bis in tiefe Lagen. Besonders extreme Beispiele standörtlicher Abhängigkeit sind in folgenden Einzeljahren zu beobachten:

- Walliser Rhonetal, Schweiz, maximale Dichte (Abbildung 41): Jahr 1921

- Troodosgebirge, Zypern, Jahrringbreite (Abbildung 46): Jahr 1963
- Front Range, USA, Jahrringbreite (Abbildung 45): Jahr 1925, 1954
- Front Range, USA, Spätholzbreite (Abbildung 47): Jahr 1971

Die Jahrringbreite ist niederschlagssensitiver als die maximale Dichte.

Witterungsanalysen der Gruppen. Je nach Jahrringparameter und Untersuchungsraum können 40 bis 65% aller Einzeljahre den drei Hauptbeeinflussungsmustern zugeordnet werden. Eine detailliertere Gruppierung wäre möglich, wurde aber nicht durchgeführt. Die Witterungsanalyse belegt, dass sich die Witterungsabläufe der drei Gruppen klar voneinander unterscheiden. Die im Kapitel 5.1.2 noch hypothetisch zugeordneten Witterungstypen können als gesichert gelten.

Der Vergleich des durchschnittlichen Witterungsverlaufs der drei Hauptgruppen erlaubt in fast allen Untersuchungsräumen klare Aussagen über die Hauptbeeinflussungsmonate der Witterung. Die Resultate aus dem Troodosgebirge sind in dieser Hinsicht zum Teil unklar.

Die maximale Dichte wird an den temperatursensitiven Standorten des Juras und des Walliser Rhonetals hauptsächlich durch die Sommertemperaturen gesteuert, während die Niederschläge der Monate Juli und August die maximale Dichte der niederschlagssensitiven Bestände am stärksten prägen. In der Front Range ist die Witterungsbeeinflussung um rund ein bis zwei Monate vorverschoben. Die Frühjahrswitterung spielt eine grössere Rolle als in den schweizerischen Untersuchungsräumen. Die zypriotischen Bestände weisen sowohl bei den Temperaturen als auch bei den Niederschlägen einen deutlichen Beeinflussungsunterbruch während der sommertrockenen Zeit auf.

Die Jahrringbreite wird in allen Untersuchungsräumen mehrheitlich von den Witterungsverhältnissen der ganzen Vegetationsperiode und vom Vorjahr beeinflusst. Im Troodosgebirge zeigt sich zum Teil auch bei diesem Jahrringparameter ein Beeinflussungsunterbruch während der sommertrockenen Zeit. Die Spätholzbreite wird in praktisch allen Untersuchungsräumen ähnlich wie die maximale Dichte beeinflusst. Die minimale Dichte ist ausschliesslich an Trockenstandorten auswertbar. Sie reagiert hauptsächlich auf Niederschlagseinflüsse im Vorjahr und im ersten und zweiten Quartal des laufenden Jahres.

5.3 Dendroökologische Diagrammzeitreihen

In den bisher beschriebenen Untersuchungen blieben vergleichende Analysen verschiedener Jahrringparameter im gleichen Jahr weitgehend aus. Ferner wurde dem Problem der Zeitreihe wenig Beachtung geschenkt. Um diese Fragenkreise zu erfassen, wurden zeitliche Abfolgen von dendroökologischen Diagrammen untersucht. Das Verfahren wird in den Abbildungen 49 bis 51 beispielhaft dokumentiert, indem die dendroökologischen Diagramme der maximalen Dichte, der Jahrringbreite und der Spätholzbreite in jeweils vier aufeinanderfolgenden Jahren gleichzeitig dargestellt, beurteilt und mit dem Witterungsablauf verglichen werden. Die Frühholzbreite wird weggelassen, weil ihre Jahresmuster sehr ähnlich zu denjenigen der Jahrringbreite sind. Auf die minimale Dichte wird wegen ihrer standörtlich beschränkten Anwendbarkeit verzichtet. Die betrachteten Jahrringsequenzen enthalten mindestens ein klimatisches Extremjahr.

Die Diagrammzeitreihe aus dem Walliser Rhonetal (Abbildung 49) umfasst als klimatologische Extremjahre das sehr kalte Jahr 1912 und das warm-trockene Jahr 1911, während die Jahressequenz aus dem Jura (Abbildung 50) das warm-trockene Jahr 1921 und das kalt-feuchte Jahr 1922 enthält. Die Diagrammzeitreihe aus der Front Range (Abbildung 51) umfasst das Trockenjahr 1966 sowie die Kälteperiode von 1967 und 1968 als klimatologische Extremjahre.

5.3.1 Die Reaktionen verschiedener Jahrringparameter im gleichen Jahr

Die verschiedenen Jahrringparameter reagieren auf den Witterungsablauf eines Jahres zum Teil sehr unterschiedlich und weisen oft stark differierende dendroökologische Diagrammmuster auf. Meistens sind dadurch die Diagramme in ein und demselben Jahr unterschiedlichen jahrringanalytischen Hauptbeeinflussungsmustern zuzuordnen. Eher selten tritt der Fall auf, dass alle Diagramme zum gleichen Haupttypus gehören. Eine Beschreibung von gleichzeitig auftretenden Mustern ist in der Tabelle 10 wiedergegeben. Die Beispiele beziehen sich auf die Abbildungen 49 bis 51. Der Grund für das unterschiedliche Verhalten der verschiedenen Jahrringparameter liegt in ihrer unterschiedlichen Witterungsbeeinflussung. Während zum Beispiel bei der maximalen Dichte die Sommermonate vorherrschen, wird die Jahrringbreite mehrheitlich von der Witterung der ganzen Vegetationsperiode beeinflusst.

Häufig müssen die dendroökologischen Diagramme verschiedener Jahrringparameter in ein und demselben Jahr verschiedenen jahrringanalytischen Haupttypen zugeordnet werden. Der Grund liegt in der unterschiedlichen Witterungsbeeinflussung der einzelnen Jahrringparameter. Nur in klimatischen Extremjahren ist eine gleichsinnige Beeinflussung aller Jahrringparameter feststellbar.

5.3.2 Temperatur- oder Niederschlagssensitivität in Abhängigkeit vom Jahrringparameter

Die dendroökologischen Diagrammsequenzen (vgl. Abbildungen 49 bis 51) bieten die Möglichkeit, für jeden Jahrringparameter die standörtlichen Einflussbereiche abzugrenzen, in denen sich das Jahrringwachstum tendenzmässig gleich verhält wie an einem der beiden Extremstandorte. Gewisse Jahrringparameter einer Chronologie verhalten sich in bestimmten Jahren eindeutig temperatursensitiv, während andere Jahrringparameter der gleichen Chronologie in denselben Jahren eindeutig niederschlagssensitiv sind. Die Analyse verschiedener Jahrringparameter am gleichen Standort bietet in gewissen Jahren die Möglichkeit, einzeljahresweise Informationen über die Temperaturen und über die Niederschläge zu erhalten.

Beispiele:

Walliser Rhonetal, Jahr 1912, maximale Dichte und Jahrringbreite (Abbildung 49). Die maximale Dichte des mässig feuchten Hochlagenstandortes ist eindeutig temperatursensitiv (Zugehörigkeit zum oberen Extremstandort), während die Jahrringbreite hauptsächlich von den Niederschlägen limitiert wird (Zugehörigkeit zum unteren Extremstandort).

Walliser Rhonetal, Jahr 1911, maximale Dichte und Spätholzbreite (Abbildung 49). Am trockenen Hochlagenstandort müssen die maximale Dichte und die Spätholzbreite verschiedenen Extremstandorten zugeordnet werden. Obwohl beide Jahrringparameter ungefähr während der gleichen Monate gebildet werden, wird die Spätholzbreite wesentlich durch die Niederschläge gesteuert (Zugehörigkeit zum unteren Extremstandort). Demgegenüber verhält sich die maximale Dichte eher temperatursensitiv (Zugehörigkeit zum oberen Extremstandort).

In ein und demselben Jahr können einzelne Jahrringparameter einer Jahrringchronologie temperatursensitiv sein, während andere Jahrringparameter der gleichen Chronologie niederschlagssensitiv sind.

Fall 1

Dendroökologische Diagramme verschiedenen Haupttypen zuordbar

Dieser Fall tritt relativ häufig auf. Er ist typisch für Jahre, bei denen der Witterungsverlauf nicht derart extrem ist wie im Fall 2. Ferner kann er auftreten, wenn der Witterungsverlauf nicht während der ganzen Vegetationsperiode gleichsinnig vom mittleren Verlauf abweicht. Meistens ist der Typus A oder B mit dem Typus C oder D kombiniert. Seltener kommen die Typen A und B innerhalb des gleichen Jahres vor.

Beispiele:

Walliser Rhonetal, Jahr 1911, maximale Dichte und Jahrringbreite (Abbildung 49). Bei der maximalen Dichte zeigt sich der Einfluss der warmen Sommerwitterung in den höheren Lagen sehr deutlich. Trockene Tieflagen weisen wegen der trockenen Witterung reduziertes Zellwandwachstum auf. Im Gegensatz zur maximalen Dichte und zur Spätholzbreite wird die Jahrringbreite aber von der ganzen Vegetationsperiode beeinflusst. Ihr grösster Anteil, das Frühholz, ist an der oberen Waldgrenze vermutlich wegen der kühlen Frühjahrswitterung verschmälert. Trotz optimalem Spätholzbreitenwachstum in höheren Lagen bleibt die Jahrringbreite gering. Dadurch verwandelt sich der B-Typus der maximalen Dichte bei der Jahrringbreite in einen C-Typus.

Jura, Jahr 1923, maximale Dichte und Jahrringbreite (Abbildung 50). Die Jahresmuster der maximalen Dichte und der Jahrringbreite verhalten sich gegensätzlich. Die warme, trockene Sommerwitterung bewirkt bei der maximalen Dichte einen typischen B-Typus, während die Jahrringbreite dem Typus A zuzuordnen ist. Eine klare klimatische Erklärung dieses Phänomens kann nicht gegeben werden. Entweder wird die Jahrringbreite an den Hochlagenstandorten von den tiefen Werten der Vorjahre geprägt oder die kühle Herbstwitterung des Jahres 1922 wirkt sich negativ auf das Breitenwachstum aus.

Fall 2

Alle dendroökologischen Diagramme dem gleichen Haupttypus zuordbar

Dieser Fall tritt relativ selten auf. Es handelt sich dabei meistens um Jahre, bei denen die Witterung in extremer Art und Weise und zum Teil während der ganzen Vegetationsperiode vom langjährigen Mittel abweicht. Dadurch werden die verschiedenen Jahrringparameter gleichsinnig beeinflusst.

Beispiele:

Walliser Rhonetal, Jahr 1912 (Abbildung 49). Die extrem kalte Sommerwitterung vermag sämtliche Jahrringparameter gleichsinnig zu beeinflussen. Man findet überall einen Typus A. Die Jahrringbreite reagiert an den temperatursensitiven Standorten am wenigsten empfindlich auf den kalten Sommer. Dies hängt vermutlich mit der warmen Winterwitterung und den durchschnittlichen Frühjahrstemperaturen zusammen, welche das Frühholzwachstum in höheren Lagen positiv beeinflussen. Die Jahrringbreite ist an diesen Standorten trotz reduziertem Spätholzbreitenwachstum relativ hoch. Die generell feuchte Witterung der ganzen Vegetationsperiode wirkt sich an praktisch allen Tieflagenstandorten und in allen Jahrringparametern positiv aus. Lediglich die Spätholzbreite ist an einem der beiden trockenen Extremstandorte eingeschränkt.

Front Range, Jahr 1966 (Abbildung 51). Die warm-trockene Witterung des zweiten und dritten Quartals bewirkt bei allen Jahrringparametern einen B-Typus.

Jura, Jahr 1921 (Abbildung 50). Im jurassischen Untersuchungsgebiet scheint sich die trockene Herbstwitterung des Jahres 1920 und die praktisch ganzjährige Trockenheit im Jahre 1921 sowohl bei der Jahrringbreite als auch bei der Spätholzbreite bis an die obere Waldgrenze negativ auszuwirken. Die maximale Dichte ist hingegen an der oberen Waldgrenze nicht eingeschränkt.

Tabelle 10: Die Reaktionen verschiedener Jahrringparameter im gleichen Jahr.

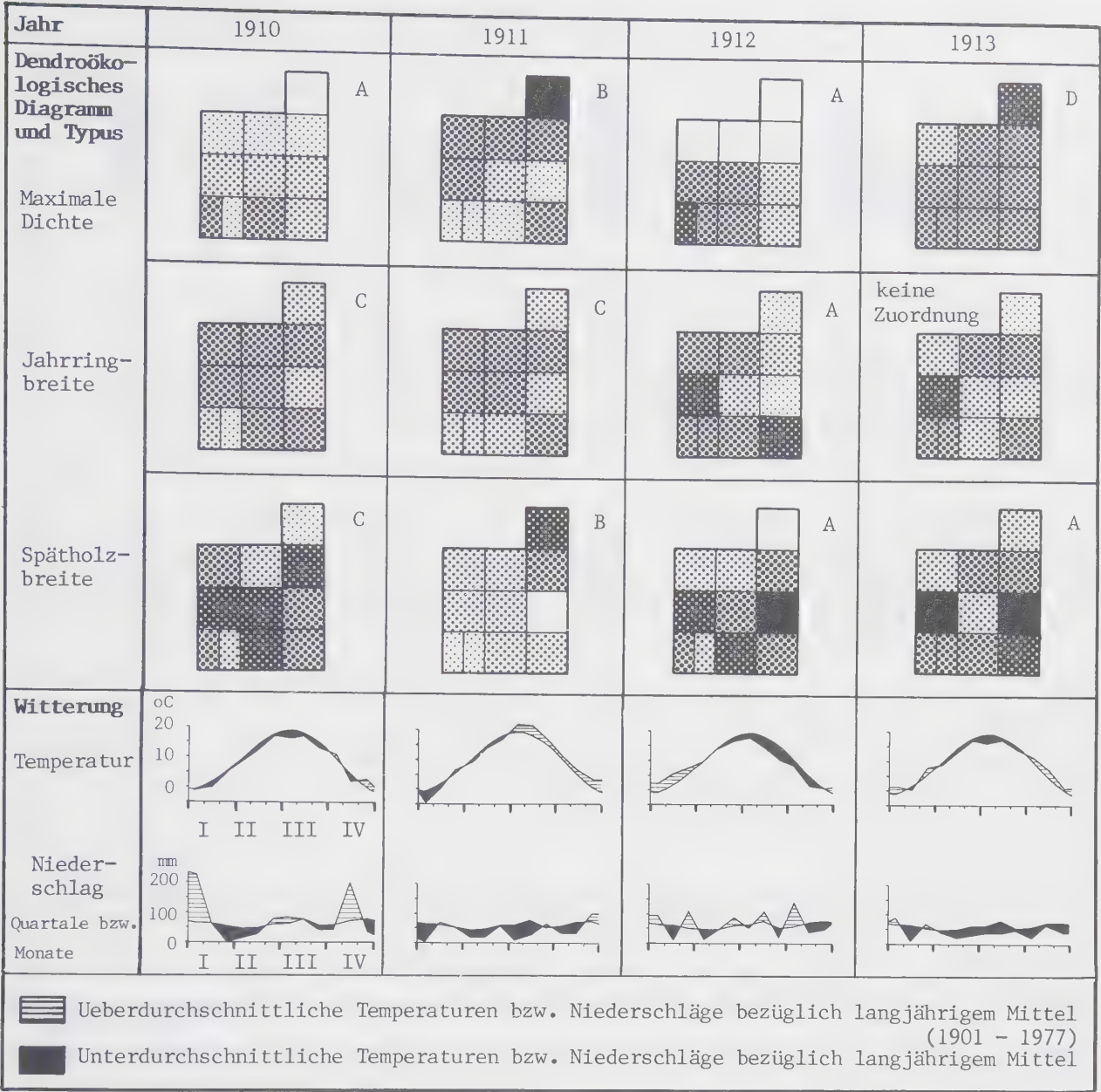


Abbildung 49: Dendroökologische Diagrammzeitreihen verschiedener Jahrringparameter aus dem Walliser Rhonetal sowie zugehöriger Witterungsverlauf der Klimastation Sitten. In den kalten Jahren 1910 und 1912 sind in den höheren Lagen deutliche Wachstumseinbrüche zu verzeichnen, während im Trockenjahr 1911 die trockenen Tieflagen reduzierte kambiale Aktivität aufweisen. Die Reaktionen der einzelnen Jahrringparameter im gleichen Jahr sind zum Teil sehr unterschiedlich (Signaturenklärung siehe Tabelle 9).

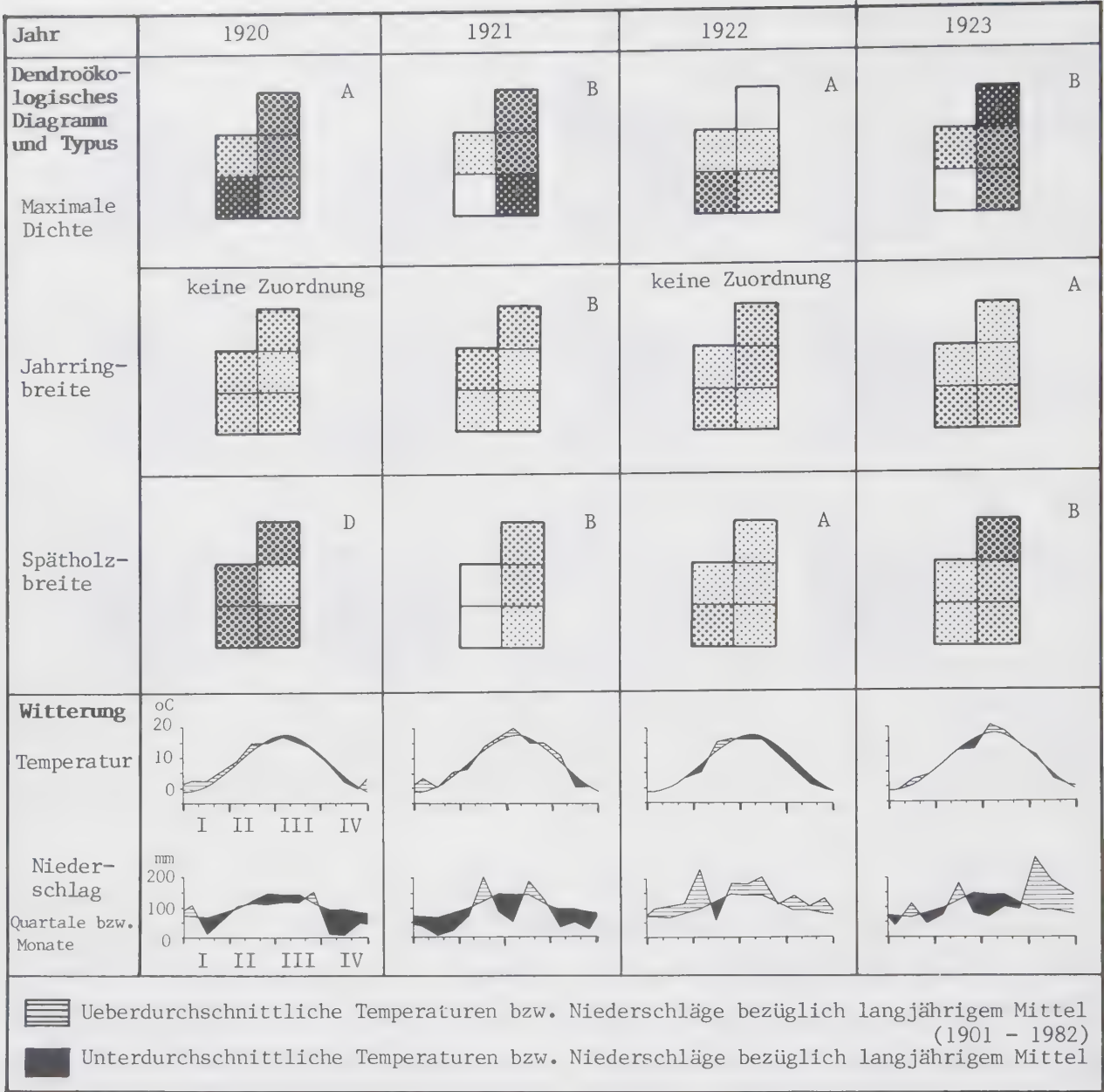


Abbildung 50: Dendroökologische Diagrammzeitreihen verschiedener Jahrringparameter aus dem Jura sowie zugehöriger Witterungsverlauf der Klimastation Bern. Im kalten Jahr 1922 sind in den höheren Lagen deutliche Wachstumseinbrüche zu verzeichnen, während in den Trockenperioden 1921 und 1923 die trockenen Tieflagen reduzierte kambiale Aktivität aufweisen. Die Reaktionen der einzelnen Jahrringparameter im gleichen Jahr sind zum Teil sehr unterschiedlich (Signaturenklärung siehe Tabelle 9).

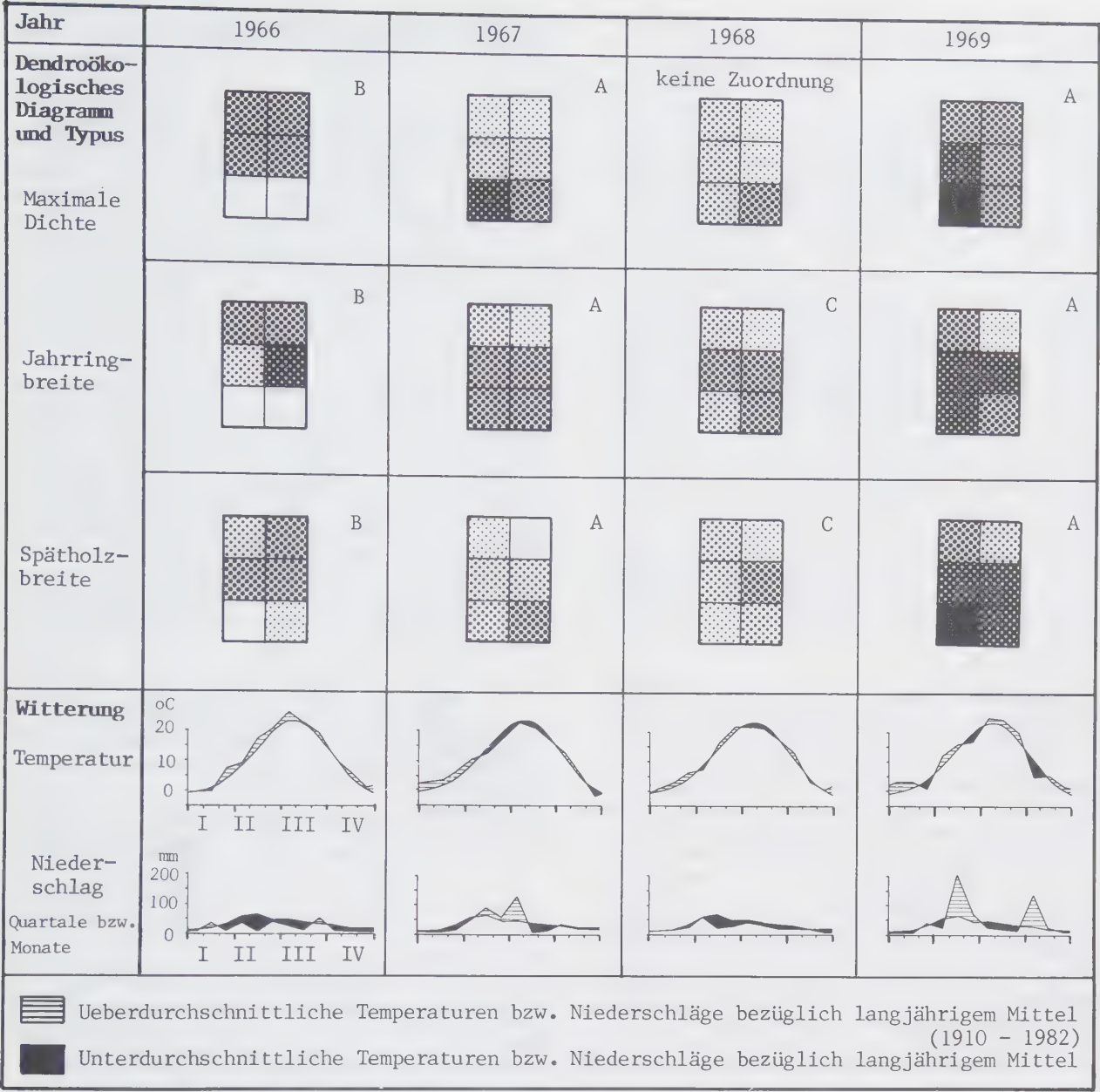


Abbildung 51: Dendroökologische Diagrammzeitreihen verschiedener Jahrringparameter aus der Front Range sowie zugehöriger Witterungsverlauf der Klimastation Denver. In den kalten, zum Teil auch trockenen Jahren 1967 und 1968 sind in den höheren Lagen deutliche Wachstumseinbrüche zu verzeichnen, während im Trockenjahr 1966 die Tieflagen reduzierte kambiale Aktivität aufweisen. Die Reaktionen der einzelnen Jahrringparameter im gleichen Jahr sind zum Teil sehr unterschiedlich (Signaturenklärung siehe Tabelle 9).

5.4 Das Jahrringwachstum und der Faktor Zeit in der Pflanzensoziologie

Es ist bekannt, dass die pflanzensoziologische Zusammensetzung eines Standorts vom Klima, den Witterungsbedingungen, den Bodenverhältnissen und weiteren Faktoren abhängig ist und das langjährige Resultat der Sukzession darstellt. Selten ist ein Artgefüge im Klimaxzustand. Oft findet man hingegen den Zustand der Schlussgesellschaft (TANSLEY, 1973). Sowohl längerfristige Klimaschwankungen als auch kurzfristige Witterungsereignisse können Pflanzengesellschaften verändern. So ist es möglich, dass in Trockenjahren feuchtliebende Arten verkümmern, Trockenzeiger aber weit verbreitet sind. Mit Dauerbeobachtungsflächen, der Pollenanalyse, der Bodenkunde und anderen Methoden versucht man den Faktor Zeit in der Pflanzensoziologie zu erfassen.

Im vorliegenden Kapitel wurde die Frage geprüft, ob es mit den entwickelten dendroökologischen Verfahren ebenfalls möglich ist, den Faktor Zeit in der Pflanzensoziologie zu erschliessen.

Vorgehen und Resultate. Mit der im Kapitel 5.2 eingehend beschriebenen dendroökologischen Methode können Aussagen über die Niederschlags- bzw. Temperatursensitivität eines Standorts gemacht werden, indem geprüft wird, wie häufig sich die Standorte während einer gewissen Zeitperiode tendenzmässig gleich verhalten wie einer der beiden Extremstandorte. Diese Häufigkeitsangabe wurde nun in Beziehung zur Pflanzensoziologie gebracht. In der Abbildung 52 ist das Vorgehen am Beispiel der Standorte des Walliser Rhonetals dokumentiert. Die Aussagen beruhen auf einem Mittelwert der drei Jahrringparameter maximale Dichte, Jahrring- und Spätholzbreite. Deutlich quantifizierbar ist die Abnahme der mittleren Niederschlagsabhängigkeit mit zunehmender Höhenlage und Feuchtigkeit der Standorte. Die Abnahme geht Hand in Hand mit der Abnahme der Trockenzeigerpflanzen, was in den nachstehenden Beispielen dokumentiert wird.

Beispiel 1: Verminderung der Niederschlagsabhängigkeit und Abnahme der Trockenzeigerpflanzen zwischen dem tiefst- und dem höchstgelegenen Trockenstandort (Probeflächen Eponde, EP und Torrent des Croix, TOR). Der jahrringanalytisch niederschlagssensitive Tieflagenstandort weist verschiedene Trockenzeigerpflanzen auf, so zum Beispiel *Quercus pubescens* Willd., *Teucrium chamaedrys* L., *Medicago falcata* L., *Trifolium medium* L. sowie wenig ausserhalb der Fläche *Coronilla emerus* L. und *Ononis rotundifolia* L. Demgegenüber weist der hochgelegene Trockenstandort nur noch *Ononis rotundifolia* L. als Trockenzeiger auf.

Beispiel 2: Uebergang zwischen dem mehrheitlich niederschlagssensitiven Wachstum am

höchstgelegenen Trockenstandort und dem mehrheitlich temperatursensitiven Wachstum am gleich hoch gelegenen, feuchten Schluchtstandort (Probeflächen Torrent des Croix, TOR und Châble d. trois besses, CTB). Dieser Uebergang zeichnet sich auch in der pflanzensoziologischen Artenzusammensetzung ab. Weist der Trockenstandort noch *Ononis rotundifolia* L. als Trockenzeiger auf, so ist der feuchte Schluchtbestand gleicher Höhenlage durch folgende Feuchtigkeitszeiger gekennzeichnet: *Peucedanum ostruthium* (L.) Koch, *Phyteuma spicatum* L., *Cicerbita alpina* (L.) Wallr., *Saxifraga rotundifolia* L., *Adenostyles glabra* (Mill.) DC. und *Gentiana asclepiadea* L.

Folgerungen und Ausblick. Die dendroökologische Methode erlaubt eine direkte Quantifizierung der Pflanzengesellschaft und damit eine Erfassung des Faktors Zeit.

In künftigen Arbeiten müsste die Methode aber verfeinert werden. Ferner sollte geprüft werden, auf welche Pflanzengruppen sich die Aussagen der beschriebenen jahrringanalytischen Methoden ausdehnen liessen. Zu diesem Zweck müssten die untersuchten Standorte als pflanzensoziologische Dauerbeobachtungsflächen ausgeschieden werden.

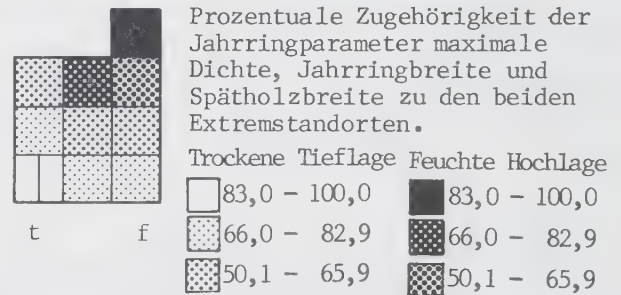


Abbildung 52: Durchschnittliche Einflussbereiche des temperatur- respektive niederschlagssensitiven Jahrringwachstums im Walliser Rhonetal. Die Darstellung bezieht sich auf die jahrringanalytischen Jahresgruppen A und B. Je nach Jahrringparameter sind dies rund 40 bis 50% aller Jahre zwischen 1901 und 1979. Die Niederschläge limitieren das Wachstum an den Trockenstandorten bis in grosse Meereshöhen. In den feuchten Beständen begrenzen hingegen die Temperaturen das Wachstum vermehrt.

Die Einzeljahres- und Gruppenanalyse erlaubt gewisse Rückschlüsse auf die pflanzensoziologische Zusammensetzung eines Standortes. Mit Hilfe der langjährigen Chronologien können Angaben über die Häufigkeit von Temperatur- oder Niederschlagsstress gemacht werden. Diese Häufigkeitsangabe hilft mit, das Auftreten gewisser Pflanzengesellschaften zu erklären und pflanzensoziologische Angaben zu quantifizieren. Die Methode müsste aber verfeinert und an pflanzensoziologisch genauer untersuchten Standorten überprüft werden.

5.5 Dendroökologische Aussagemöglichkeiten der 'skeleton plot'-Methode

Ein Ziel der vorliegenden Arbeit besteht darin, zu prüfen, ob sich die einfache, ursprünglich nur zur Datierung entwickelte Methode des 'skeleton plot' auch für dendroökologische Untersuchungen eignet.

Automatisiertes Verfahren. Die 'skeleton plot'-Diagramme konnten mit dem Computerprogramm von CROPPER (1979) auf rechnerischem Weg gezeichnet werden. Die Resultate gelten demnach streng genommen nur für die automatisiert hergestellten 'skeleton plot'-Diagramme der Mittelkurven. Das automatisierte Verfahren stimmt aber bei Einzelkurven der Jahrringbreite in 85% aller Fälle mit den rein optisch hergestellten 'skeleton plot'-Diagrammen überein (CROPPER, 1979). Wie gross die Uebereinstimmung zwischen dem automatisierten Verfahren bei Mittelkurven und optisch hergestellten und gemittelten Einzelkurven ist, müsste in weiteren Untersuchungen abgeklärt werden. Sie dürfte aber vermutlich in der gleichen Grössenordnung liegen.

Um die Uebereinstimmung zwischen dem optischen und dem rechnerischen Verfahren zu verbessern, wurden die Aussagen der Jahrringbreite, der maximalen Dichte und der Spätholzbreite gemittelt. Die Wahl der drei Jahrringparameter beruht auf der Ueberlegung, dass das Auge bei der optischen 'skeleton plot'-Analyse nicht nur die Jahrringbreite bewertet, sondern eine Synthese aus Jahrringbreite, maximaler Dichte und Spätholzbreite bildet. Auf Grund dieser Ueberlegungen sollten die Resultate sowohl für die automatisiert als auch für die manuell hergestellten Diagramme repräsentativ sein.

Vorgehen. Die aus den berechneten Balkendiagrammen ersichtlichen Angaben über das Jahrringwachstum wurden einzeljahresweise in dendroökologischen Diagrammen dargestellt und mit den entsprechenden Diagrammen der Indexwerte und des Intervalltrends verglichen.

Resultate und Methodenvergleich. In der Abbildung 53 ist die Jahressequenz 1910 bis 1913 aus dem Walliser Rhonetal beispielhaft dargestellt. Die Methode des 'skeleton plot', der Indexwerte und des Intervalltrends ergeben nur in den klimatisch extremen Jahren 1911 und 1912 übereinstimmende Haupttypenklassifikationen. Auf den Einzelstandort bezogen stimmen aber die Aussagen der drei Verfahren auch bei diesen Jahren oft nicht überein. Im Jahre 1912 gehört zum Beispiel der feuchte Tieflagenstandort auf Grund des 'skeleton plot' tendenzmässig zur trockenen Tieflage. Auf Grund der Indexwerte wird er aber dem oberen Waldgrenzstandort zugeordnet. In den beiden anderen, klimatisch weniger extremen Jahren 1910 und 1913 ist keine Uebereinstimmung zwischen den Haupttypenklassifikationen der drei Methoden festzustellen.

Zudem zeigt die 'skeleton plot'-Methode ein sehr undifferenziertes, flaches Bild. Die Erscheinung ist darauf zurückzuführen, dass das Verfahren nur in jenen Jahren Informationen liefert, wo die kambiاله Aktivität verglichen mit den Vor- und Nachjahren stark schwankt. Diese Voraussetzung ist meistens nur in klimatischen Extremjahren erfüllt.

Die Analyse weiterer Jahre lässt folgende Schlüsse zu:

- Die 'skeleton plot'-Methode eignet sich bei Höhenprofilen mit sensitiven Jahrringchronologien für einfache dendroökologische Aussagen. Die generellen Muster der dendroökologischen Diagramme stimmen in mässig vielen Fällen mit denjenigen der radiodensitometrischen Untersuchungen überein.
- Die Anzahl auswertbarer Jahre ist beim 'skeleton plot' wesentlich geringer als bei den radiodensitometrischen Untersuchungen, da Jahre mit mittleren Wachstumsverhältnissen nicht im 'skeleton plot'-Diagramm auftreten. Ferner wird die Anzahl auswertbarer Jahre mit zunehmend feuchtem und kühlem Klima kleiner.
- Der Intervalltrend stimmt oft besser mit den Aussagen der 'skeleton plot'-Methode überein als die Indexwerte. In den Jahren 1912 und 1913 bestätigt sich diese Aussage. Das Resultat ist plausibel, da sowohl bei der 'skeleton plot'-Methode als auch bei der Intervalltrendberechnung hauptsächlich die Schwankungen von Jahr zu Jahr berücksichtigt werden.

Folgerungen und Empfehlungen. Die 'skeleton plot'-Methode kann in ganzjährig trockenen Klimaräumen für überblicksmässige dendroökologische Untersuchungen empfohlen werden (z.B. Walliser Rhonetal, Front Range). Es wurde nicht geprüft, ob sich die herkömmliche Methode in kühl- bis kaltfeuchten und mediterranen Klimagebieten mit Erfolg anwenden lässt. Auf Grund der Resultate von GIDDINGS (1942), der in Alaska mit der einfachen Methode Datierungen durchführte, liegt die Vermutung nahe, dass das Verfahren auch in kühl- bis kaltfeuchten Klimabereichen dendroökologische Aussagen erlaubt. Wie dem auch sei, fest steht, dass eine verfeinerte optische Ansprache entwickelt werden müsste, um verlässlichere dendroökologische Informationen zu erhalten. Eine solche Verfeinerung würde bestimmt auch in semiariden Gebieten die Aussagekraft vergrössern und damit die Zahl der ökologisch auswertbaren Jahre erhöhen. Ohne weitere Verfeinerung sind hingegen die dendroökologischen Einsatzmöglichkeiten der 'skeleton plot'-Methode beschränkt. Wo aber Informationen mit geringem materiellem Aufwand und in kurzer Zeit gewonnen werden müssen, ist ihre Anwendung gerechtfertigt. Lassen sich mit ihrer Hilfe gar die jahrringanalytischen Gruppen A, B und C bilden, so erlaubt der gegenseitige Vergleich des Wit-

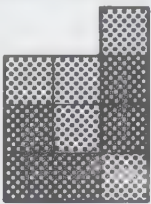
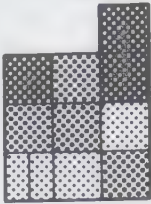
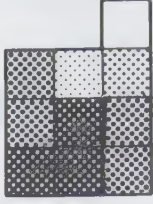
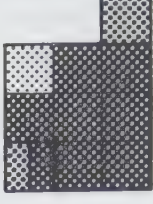
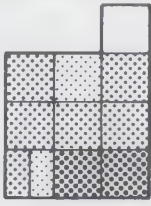
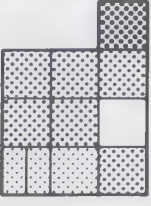
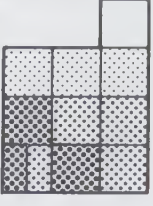
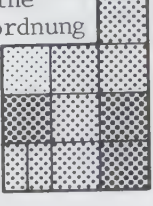
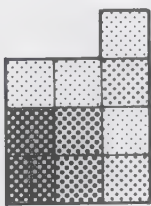
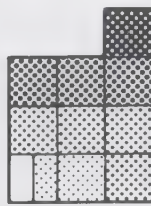
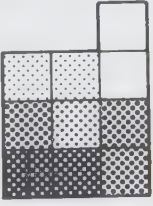
Jahr	1910	1911	1912	1913
Dendroökologisches Diagramm und Typus	 D	 B	 A	 D
Methode 'skeleton plot'				
Indexwerte	 C	 B	 A	keine Zuordnung 
Intervalltrend	 A	 B	 A	 B
Signatur	Zellwandwachstum, Jahrring- und Spätholzbreite			
	Durchschnittliche Bewertung (aufsteigende Punkteskala) der maximalen Dichte, Jahrring- und Spätholzbreite nach dem Bewertungsschlüssel in der Tabelle 20 (Anhang).			
	Sehr gering	1,0 - 1,9		
	Gering	2,0 - 2,9		
	Durchschnittlich	3,0 - 3,9		
	Mässig gross	4,0 - 4,9		
	Gross bis sehr gross	5,0 - 6,0		

Abbildung 53: Einzeljahresweiser Vergleich der 'skeleton plot'-Methode mit den Aussagen der Indexwerte und des Intervalltrends. Alle dendroökologischen Diagramme beziehen sich auf den Mittelwert der Jahrringparameter Jahrringbreite, maximale Dichte und Spätholzbreite. Bei der 'skeleton plot'-Methode erfolgt eine Klassierung des Jahrringwachstums auf Grund der Balkenhöhe. Bei den Indexwerten und beim Intervalltrend werden die radiodensitometrisch gemessenen Werte klassiert (Bewertungsschlüssel siehe Tabelle 20, Anhang). Bei den Diagrammen der Jahre 1911 und 1912 ist eine generelle Uebereinstimmung der Haupttypen ersichtlich. In den beiden anderen Jahren stimmen die Aussagen der 'skeleton plot'-Methode weder mit dem Intervalltrend noch mit den Indexwerten überein.

terungsverlaufs der drei Jahresgruppen einfache dendroklimatologische Aussagen. Das Vorgehen wäre gleich wie bei der Witterungsanalyse der Gruppen (Kapitel 5.2). Auf diese

Weise könnte für einfache Witterungsanalysen sogar auf die Berechnung der 'response functions' verzichtet werden.

Die 'skeleton plot'-Methode erlaubt bei Höhenprofilen mit sensitiven Jahrringchronologien gewisse dendroökologische Aussagen. Die Qualität ist aber deutlich geringer als bei den radiodensitometrischen Analysen. Die Uebereinstimmung mit dem Intervalltrend ist grösser als mit den Indexwerten. In ganzjährig trockenen Klimaräumen kann die Methode für einfache dendroökologische Ueberblicksuntersuchungen

empfohlen werden. Der Einsatz in kühlfeuchten und mediterranen Klimabereichen wurde nicht geprüft. Die Wahrscheinlichkeit ist aber gross, dass das Verfahren auch dort Informationen liefern kann. Auf jeden Fall müsste die optische Ansprache der Jahrringe verfeinert werden, um die dendroökologischen Anwendungsmöglichkeiten der Methode zu verbessern.

5.6 'Response functions'

Im Anschluss an die Einzeljahres- und Gruppenanalysen wurden die 'response functions' nach FRITTS et al. (1971) und FRITTS (1976) berechnet, um den mittleren Einfluss der Witterung auf das Jahrringwachstum abzuschätzen. Ferner erfolgte ein Vergleich zwischen den 'response functions' und den Witterungsanalysen der Einzeljahres- und Gruppenuntersuchungen. Besonderes Gewicht wurde auf die Verknüpfung der beiden Methoden gelegt. Die Kombination erlaubte es, die 'response functions' für verschiedene Teilgruppen von Jahren zu berechnen. Damit sollen Wege aufgezeigt werden, die aus der Mittelwertbetrachtung herausführen. Schliesslich wurde mit der Methode der 'response functions' überprüft, ob die Evapotranspirationsberechnungen den Erklärungsgrad der Jahrringchronologien signifikant erhöhen.

5.6.1 Eingangsgrössen und Generalisierungsverfahren

Eingangsgrössen. Als unabhängige Variable dienten folgende Zeitreihen:

- Messreihen der Temperaturen und der Niederschläge typischer Klimastationen der Untersuchungsgebiete (vgl. Kapitel 4.1).
- Berechnete Messreihen der Evapotranspiration für verschiedene Evapotranspirationsformeln der Klimastation Sitten (vgl. Kapitel 4.2).

Als abhängige Variable dienten die Zeitreihen der 32 Standortschronologien mit verschiedenen Jahrringparametern (vgl. Kapitel 4.3).

Generalisierungsverfahren. Die bisherigen Erfahrungen mit den 'response functions' zeigen, dass für verlässliche dendroklimatologische Aussagen eine grosse Anzahl von Berechnungen notwendig ist. Erst dann tritt die Individualität der Standorte in den Hintergrund. Um aber eine grosse Anzahl 'response functions'-Kurven (Abbildung 54) interpretieren zu können, müssen sie generalisiert und die wichtigsten Einflussgrössen graphisch hervorgehoben werden. (vgl. CROPPER und FRITTS, 1981; NORTON, 1983).

Das in der vorliegenden Arbeit angewendete Generalisierungsverfahren ist in der Abbildung 54 ausführlich erläutert. Die Einflussstärke der unabhängigen Variablen wird graphisch hervorgehoben. Sie hängt einerseits von der absoluten Abweichung der Kurven von der Nulllinie ab, andererseits von der Anzahl aufeinanderfolgender Monate, die gleichsinnig

von der Nulllinie abweichen (Bogenmuster). Die dargestellte optische Bewertungsmethode berücksichtigt beide Informationsquellen. Bogenmuster mit stark von der Nulllinie abweichenden Beträgen werden am besten bewertet, reine Zackenmuster werden gedämpft.

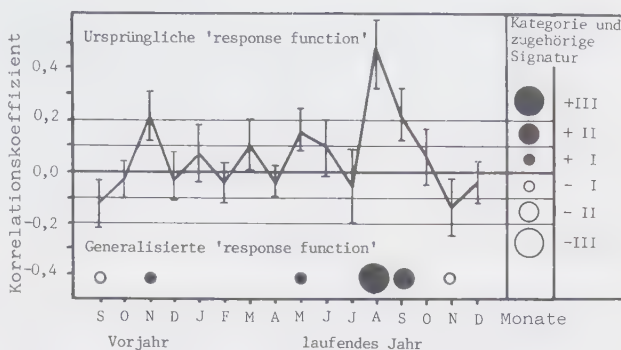


Abbildung 54: Angewandetes Generalisierungsverfahren für 'response functions'. Die Monate, die einen signifikanten Einfluss auf das Jahrringwachstum ausüben, werden mit Hilfe von Kreisen unterschiedlicher Fläche wiedergegeben. Bei positiver Korrelation sind die Kreise ausgefüllt, bei negativer Korrelation leer. Die Kreisgrösse bemisst sich auf Grund der Abweichung der Kurve von der Nulllinie. Signifikant beeinflussende Monate werden mit Hilfe der Konfidenzgrenze die der Nulllinie näher liegt, einer der angegebenen Signaturenkategorien zugeordnet. Um bei der Generalisierung die Bewertungen der Zackenmuster zu dämpfen und die Bogenmuster zu fördern, wird anschliessend geprüft, ob der Mittelwert mindestens eines benachbarten Monats auf der gleichen Seite der Nulllinie liegt. Ist dies der Fall, bleibt die Signaturenkategorie unverändert. In allen anderen Fällen reduziert sie sich um eine Kategorie in Richtung der Nulllinie (zum Beispiel November Vorjahr).

Das beschriebene Generalisierungsverfahren eignet sich gut für die Interpretation einer grossen Anzahl von 'response functions'. Wichtige Witterungseinflüsse können optisch sichtbar gemacht werden.

5.6.2 'Response functions' der längstmöglichen Untersuchungspe- rioden

Die für die längstmöglichen, klimatisch dokumentierten Perioden berechneten 'response functions' sind in den Abbildungen 55 bis 57 generalisiert wiedergegeben. Die Berechnungen beziehen sich auf ausgewählte Jahrringparameter und sind nach Untersuchungsräumen, Höhenlagen und Standortseigenschaften gegliedert. Ein Vergleich der Resultate mit den Ergebnissen der Einzeljahres- und Gruppenanalysen wird im Kapitel 5.7 gegeben.

Maximale Dichte (Abbildung 55)

Untersuchungsräume Walliser Rhonetal, Jura und Front Range. Sowohl an der oberen, temperatursensitiven Waldgrenze als auch in den niederschlagssensitiven Tieflagen können klare statistische Beziehungen zwischen der maximalen Dichte und den Klimaelementen Temperatur bzw. Niederschlag nachgewiesen werden. Der positiv korrelierte Temperatureinfluss wird mit abnehmender Höhenlage geringer, während der Niederschlagseinfluss zunimmt. Kalt-feuchte Bedingungen führen in hohen Lagen zu tiefen Dichtewerten, während die trockenen Tieflagen optimales Zellwandwachstum aufweisen. Bei warm-trockenen Bedingungen sind die Reaktionen gerade entgegengesetzt.

In den temperatursensitiven Beständen des Walliser Rhonetals und des Juras liegt die Hauptbeeinflussungszeit der **Temperaturen** in den Monaten Juli, August und September. In gewissen Beständen spielen auch die Frühjahrstemperaturen eine Rolle. Auffällig ist der Beeinflussungsunterbruch im Juni. Im Untersuchungsraum der Front Range ist die positiv korrelierte Hauptbeeinflussungszeit gegenüber den schweizerischen Beständen leicht vorverschoben und die Frühjahrstemperaturen spielen an den temperatursensitiven Standorten eine gewichtigere Rolle.

Der Einfluss der **Niederschläge** umfasst in allen Regionen eine grössere Zeitperiode als der Einfluss der Temperaturen. An niederschlagssensitiven Standorten bewirken hohe Niederschlagsmengen im vierten Quartal des Vorjahres sowie im ersten, zweiten und dritten Quartal der laufenden Vegetationsperiode hohe Dichtewerte. Mit zunehmender Meereshöhe beobachtet man an den niederschlagssensitiven Standorten eine Vorverlegung der Einflussmonate. Vermutlich spielt hier die Schneerücklage eine entscheidende Rolle.

Innerhalb der gleichen Höhenstufe führen **standörtliche Unterschiede** zum Teil zu erheblichen Beeinflussungsunterschieden. Die Temperaturen limitieren dabei das Zellwandwachstum oft standortsunabhängiger als die Niederschläge. Als Beispiel für standörtliche Unterschiede seien die Waldbestände Jolimont (JOLT) und Berlincourt (BERF) aus dem Jura erwähnt. Obwohl die Standorte praktisch gleich hoch liegen, reagieren sie wegen ihrer standörtlichen Unterschiede völlig verschieden auf das Witterungsgeschehen.

Der Einfluss der **Vorjahreswerte** der maximalen Dichte ist stark von der Höhenlage abhängig. Mit abnehmender Meereshöhe nimmt der positiv korrelierte Vorjahreseinfluss zu.

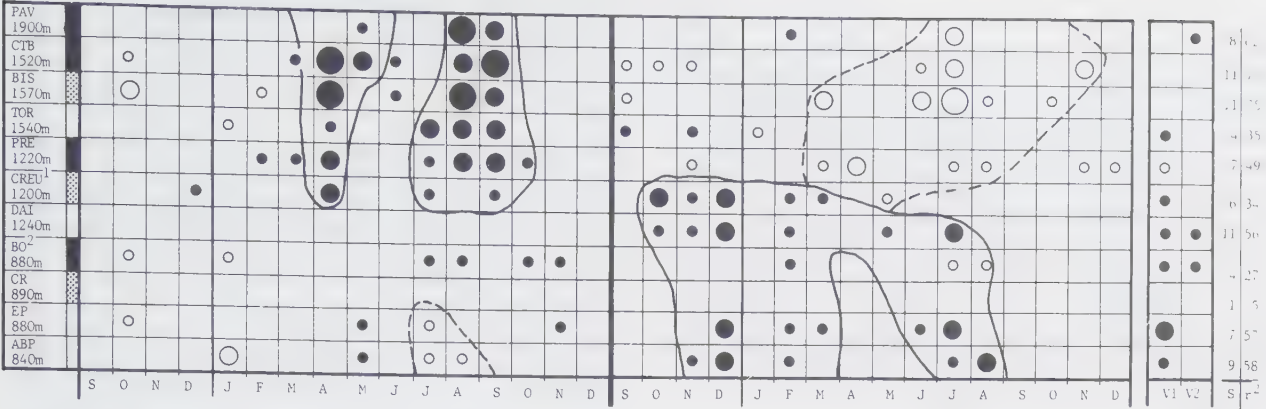
In den drei Untersuchungsräumen hat die maximale Dichte einen vielfältigeren dendroklimatologischen Informationsgehalt als die Jahrringbreite (Abbildung 56), obwohl letztere gegenüber der maximalen Dichte nur einen minim schlechteren durchschnittlichen Erklärungsgrad der Varianz aufweist.

Untersuchungsraum Troodosgebirge. Er zeigt wesentlich andere Beeinflussungsmuster als die drei bisher besprochenen Regionen. Die Temperaturen und Niederschläge des Spätwinters und des Frühjahrs prägen die maximale Dichte am intensivsten. Zu ähnlichen Resultaten gelangte auch SERRE (1978) in den südlichen Westalpen.

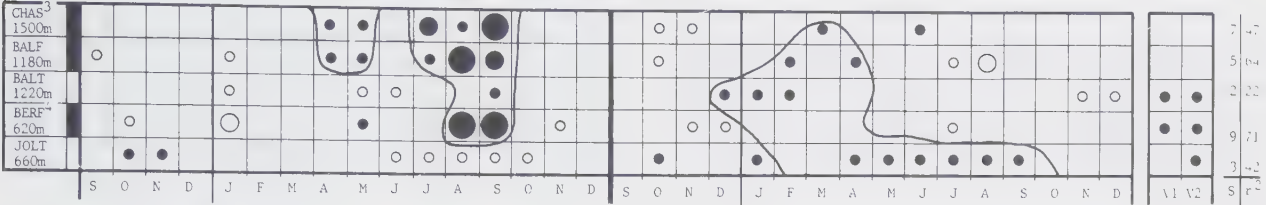
Die **Temperaturen** beeinflussen das Zellwandwachstum ziemlich unabhängig von der Höhenlage und sind in den Monaten Juni, Juli, August und September negativ mit dem Zellwandwachstum korreliert. Diese Erscheinung fällt zeitlich mit dem Beeinflussungsunterbruch zusammen, der bereits bei der Einzeljahres- und Gruppenanalyse auftrat. Die negativen Korrelationen hängen vermutlich mit der eingeschränkten Evapotranspiration bei kühler Witterung zusammen. Der Wasserstress ist dadurch geringer und das Zellwandwachstum stärker.

Bei den **Niederschlägen** ist eine höhenabhängige Beeinflussung angedeutet. Mittlere Höhenlagen werden vermehrt von den Herbstniederschlägen des Vorjahres sowie von den Winter- und Frühjahrsniederschlägen der laufenden Vegetationsperiode geprägt. An den hoch gelegenen Standorten sind die Niederschläge negativ mit der maximalen Dichte verknüpft. Das Phänomen tritt auch beim Untersuchungsraum des Walliser Rhonetals deutlich auf.

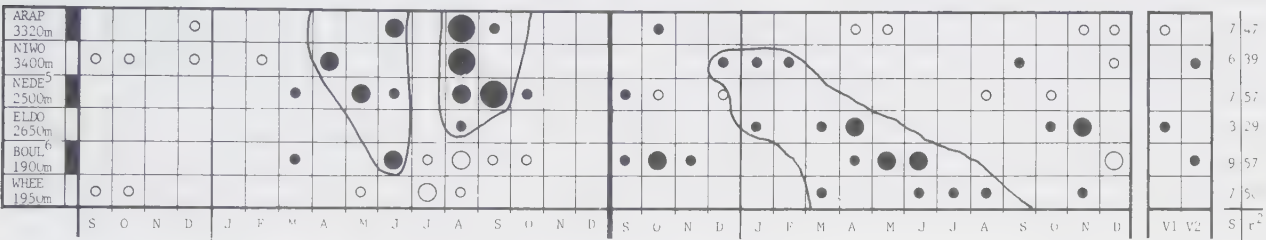
Walliser Rhonetal, Schweiz (1901 - 1977), Klimastation Sitten



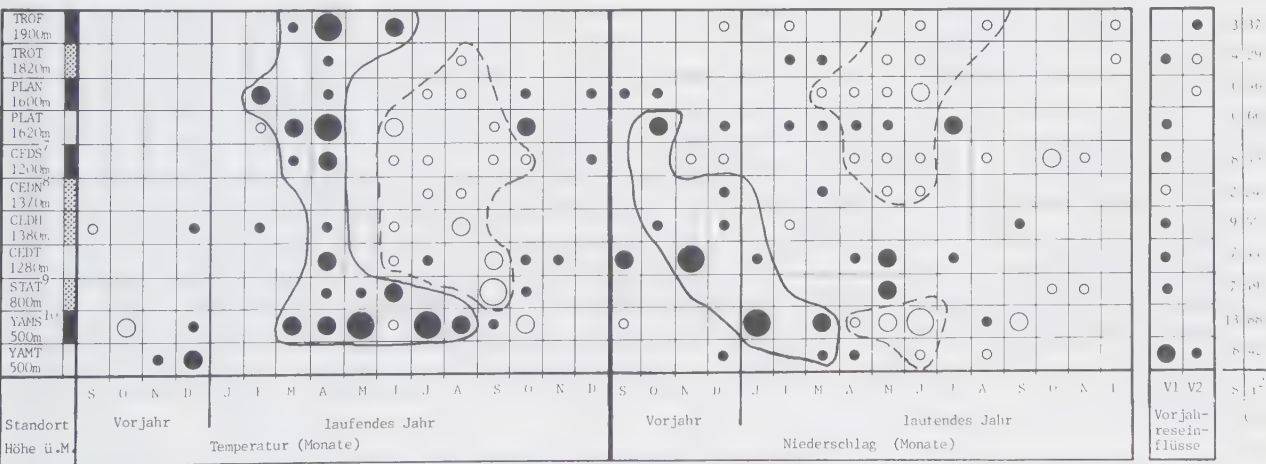
Jura, Schweiz (1901 - 1982), Klimastation Bern



Front Range, USA (1910 - 1982), Klimastation Denver



Troodosgebirge, Zypern (1900 - 1973), Klimastation Nicosia



¹ab 1906 ²ab 1904 ³bis 1975 ⁴ab 1905 ⁵ab 1920 ⁶ab 1907 ⁷ab 1905 ⁸ab 1926 ⁹ab 1919 ¹⁰ab 1938

Abbildung 55: Generalisierte 'response functions' der längstmöglichen Untersuchungsperioden des Jahrringparameters maximale Dichte. Jede Standortschronologie wird mit den signifikant beeinflussenden Monaten der Witterung (Temperatur, Niederschlag) charakterisiert. Ferner ist der zugehörige Vorjahreseinfluss sowie der Erklärungsgrad der Varianz (r^2) beim letzten noch signifikanten Schritt (S) angegeben (Signifikanzniveau: 95%). Die wichtigsten generellen Einflüsse sind mit Linien abgegrenzt.

- Feuchte Standorte
- Mittlere Standorte
- Trockene Standorte
- Positive Korrelationen ○ Negative Korrelationen (vgl. Abbildung 54)

Jahrringbreite (Abbildung 56)

Untersuchungsräume Walliser Rhonetal, Jura und Front Range. Das Jahrringbreitenwachstum der Bäume wird bis in grosse Meereshöhen von den **Niederschlägen** geprägt. Sie sind praktisch vom Dezember bis im August positiv mit der Jahrringbreite korreliert. Die Winter- und Frühjahrsniederschläge haben eine entscheidende Bedeutung, da sie sich positiv auf das Frühholzbreitenwachstum auswirken und damit die Jahrringbreite stark beeinflussen. Mit zunehmender Meereshöhe beobachtet man in den Regionen der Front Range und des Juras eine Vorverlegung der Einflussmonate der Niederschläge. Das Phänomen wurde bereits bei der maximalen Dichte beobachtet.

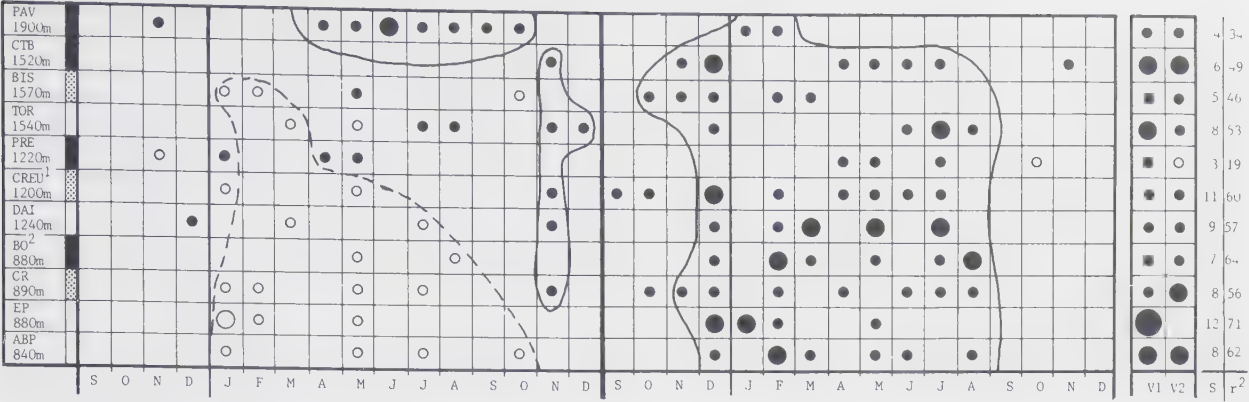
Der **Temperatureinfluss** tritt mit Ausnahme des Standortes an der oberen Waldgrenze im Walliser Rhonetal stark in den Hintergrund. Es ist folglich gefährlich, allein auf Grund von Jahrringbreitenchronologien der oberen Waldgrenze Temperaturrekonstruktionen durchzuführen, da das Jahrringbreitenwachstum in diesen Höhenlagen oft vom Niederschlag beeinflusst wird. In tieferen Höhenlagen korrelieren die Temperaturen zunehmend negativ mit der Jahrringbreite. Kalt-feuchte Jahre bewirken folglich an den trockenen Tieflagen breite Jahrringe. Diese Tendenz hält erstaunlicherweise

bis in grosse Meereshöhen an. Warm-trockene Jahre erzeugen in Tieflagen schmale Jahrringe, während dieser Witterungstyp an Standorten der oberen Waldgrenze das Wachstum fördert.

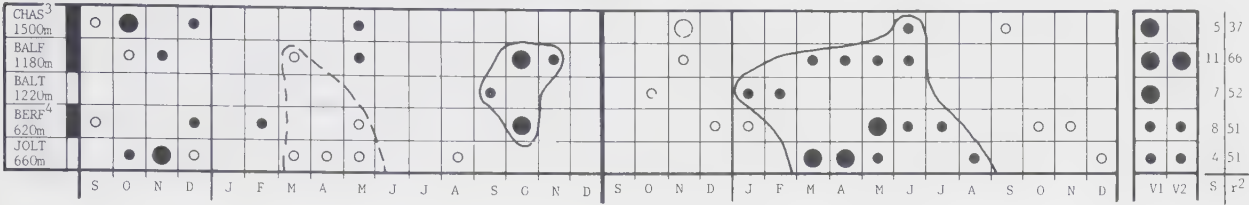
Der **Vorjahreseinfluss** der Jahrringbreite ist verglichen mit demjenigen der maximalen Dichte gross. Er zeigt keine eindeutige Abhängigkeit von der Höhenlage der Standorte und nimmt lediglich in den Untersuchungsräumen des Juras und der Front Range mit abnehmender Meereshöhe leicht ab.

Untersuchungsraum Troodosgebirge. Er zeigt ein zur maximalen Dichte sehr ähnliches Bild. Die klimatisch erklärbare Varianz der multivariaten Modelle ist hingegen deutlich höher als bei der maximalen Dichte. Die Temperaturen des Spätwinters und des Frühjahrs prägen die Jahrringbreite ziemlich unabhängig von der Höhenlage der Standorte. Weiter fallen die negativ korrelierten Spätfrühjahrs- und Frühsommertemperaturen sowie der positiv korrelierte Herbsteinfluss auf. Die Niederschläge steuern das Jahrringwachstum ebenfalls sehr stark. Ihr Einfluss nimmt gegen die obere Waldgrenze hin ab. In den Tieflagen ist eine Beeinflussungspause während der Sommermonate leicht angedeutet. Sie verliert sich jedoch mit zunehmender Meereshöhe.

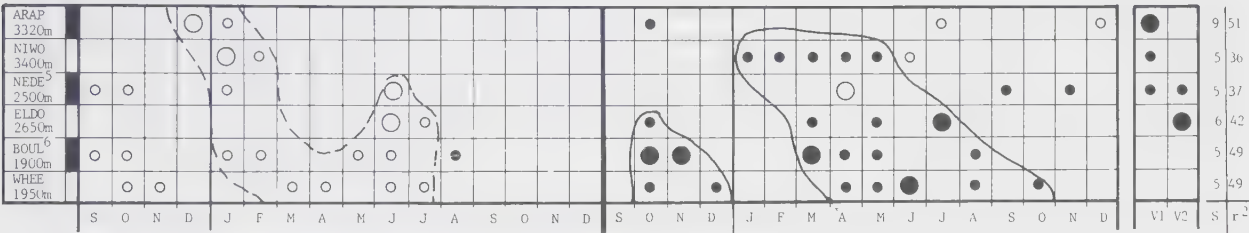
Walliser Rhonetal, Schweiz (1901 - 1977), Klimastation Sitten



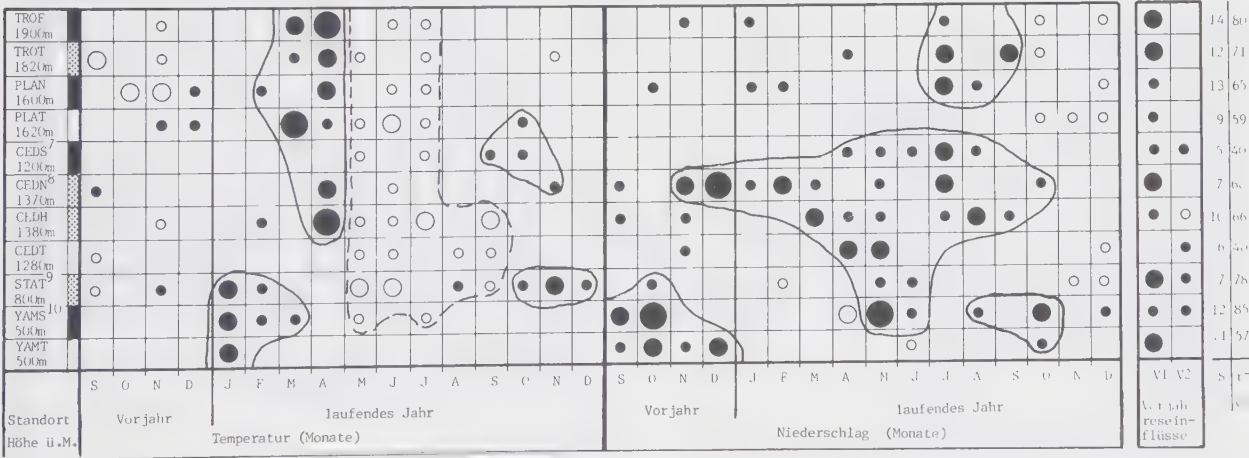
Jura, Schweiz (1901 - 1982), Klimastation Bern



Front Range, USA (1910 - 1982), Klimastation Denver



Tróodosgebirge, Zypern (1900 - 1973), Klimastation Nicosia



1^{ab 1906} 2^{ab 1904} 3^{bis 1975} 4^{ab 1905} 5^{ab 1920} 6^{ab 1907} 7^{ab 1905} 8^{ab 1926} 9^{ab 1919} 10^{ab 1938}

Abbildung 56: Generalisierte 'response functions' der längstmöglichen Untersuchungsperioden des Jahrringparameters Jahrringbreite. Jede Standortschronologie wird mit den signifikant beeinflussenden Monaten der Witterung (Temperatur, Niederschlag) charakterisiert. Ferner ist der zugehörige Vorjahreseinfluss sowie der Erklärungsgrad der Varianz (r^2) beim letzten noch signifikanten Schritt (S) angegeben (Signifikanzniveau: 95%). Die wichtigsten generellen Einflüsse sind mit Linien abgegrenzt.

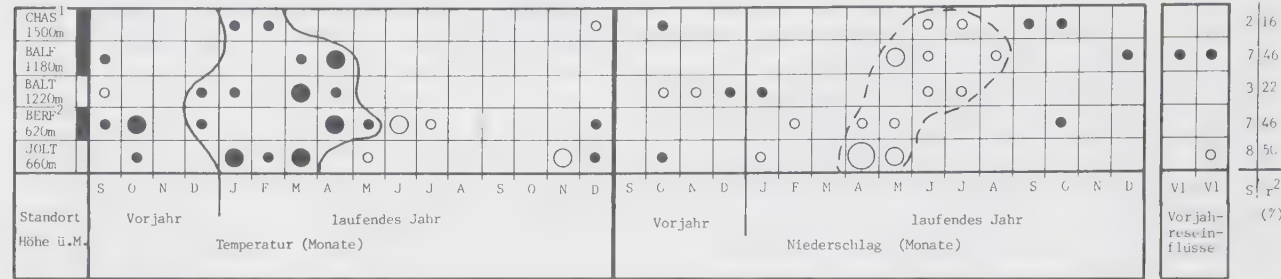
- Feuchte Standorte
 - ▨ Mittlere Standorte
 - Trockene Standorte
 - Positive Korrelationen
 - Negative Korrelationen
- (vgl. Abbildung 54)

Minimale Dichte (Abbildung 57)

Die 'response functions' der minimalen Dichte werden nur für den **Untersuchungsraum Jura** dargestellt. Die anderen Regionen ergaben aber sehr ähnliche Ergebnisse. Generell lässt sich festhalten, dass eine warm-trockene Winter- und Frühjahrswitterung an vielen Standorten zu hohen minimalen Dichten führt. Der erwähnte Witterungsablauf führt vor allem an niederschlagssensitiven Standorten zu

schmalem Frühholz, was die Werte der minimalen Dichte anhebt. Feuchte, temperatursensitive Lagen zeigen diese Beziehungen weniger klar. Die minimale Dichte ist deshalb auch nur für niederschlagssensitive Standorte geeignet. Mit zunehmender Meereshöhe verschieben sich die Hauptbeeinflussungsmonate der Temperaturen und der Niederschläge. Dies hängt damit zusammen, dass in tiefen Lagen die Frühholzbildung früher erfolgt als in Hochlagen.

Jura, Schweiz (1901 - 1982), Klimastation Bern



¹bis 1975 ²ab1905

Abbildung 57: Generalisierte 'response functions' der längstmöglichen Untersuchungsperioden des Jahrringparameters minimale Dichte. Jede Standortschronologie wird mit den signifikant beeinflussenden Monaten der Witterung (Temperatur, Niederschlag) charakterisiert. Ferner ist der zugehörige Vorjahreseinfluss sowie der Erklärungsgrad der Varianz (r^2) beim letzten noch signifikanten Schritt (S) angegeben (Signifikanzniveau: 95%). Die wichtigsten generellen Einflüsse sind mit Linien abgegrenzt.

- Feuchte Standorte

□ Trockene Standorte
- Positive Korrelationen
(vgl. Abbildung 54)

○ Negative Korrelationen

Die 'response functions' lassen folgende Aussagen über die **positiv korrelierten** Hauptbeeinflussungsmonate der Witterung zu:

Maximale Dichte

Walliser Rhonetal, Jura:

- Je nach Standort Sommertemperaturen oder -niederschläge (teilweise auch Frühjahrs- und Wintereinflüsse).

Front Range:

- An temperatursensitiven Standorten Temperaturen der Frühjahrs- und Sommermonate.
- An niederschlagssensitiven Standorten starker Einfluss der Frühjahrsniederschläge.

Troodosgebirge:

- Temperaturen und Niederschläge des Spät- winters und des Frühjahrs relativ unabhän- glich von der Höhenlage.
- Beeinflussungsunterbruch oder negative Korrelationen während der Spätfrühjahrs-

und Frühsommermonate.

Jahrringbreite

Walliser Rhonetal, Jura, Front Range:

- Vorherrschender Niederschlagseinfluss (Dezember bis August) bis in grosse Mee- reshöhen.
- Sommertemperaturen nur an wenigen Wald- grenzstandorten prägend.

Troodosgebirge:

- Höhenabhängigkeit grösser als bei der maximalen Dichte. Sonst sehr ähnliche Be- einflussung wie maximale Dichte.

Minimale Dichte

- Lediglich an ausgeprägten Trockenstand- orten dendroklimatologische Aussagen mög- lich. Eine warme, trockene Winter- und Frühjahrswitterung führt vor allem an Trockenstandorten zu hohen minimalen Dichten.

5.6.3 'Response functions' mit Evapo-
transpirationsdaten

Nebst den bereits besprochenen 'response functions' erfolgten Berechnungen, bei denen die simulierten Daten der Evapotranspiration als unabhängige Variable benützt wurden. Folgende Fragen wurden geprüft:

- Ergeben sich zwischen den Temperatur-Niederschlagsmodellen und den Evapotranspirationsmodellen Unterschiede in den Hauptbeeinflussungsmonaten?
- Erklären die Evapotranspirationsmodelle das Jahrringwachstum besser als die Temperatur-Niederschlagsmodelle?

Beide Fragen wurden an den Walliser Standorten für die Parameter maximale Dichte, Jahrringbreite und minimale Dichte geprüft. Drei Evapotranspirationsformeln fanden dabei Verwendung: die Formeln nach PENMAN, CHRISTIANSEN und THORNTHWAITE (Literaturangaben, vgl. Tabelle 7).

Die Hauptbeeinflussungsmonate der Evapotranspirationsmodelle

Bei den Evapotranspirationsmodellen korrelieren trotz Unterschieden ähnliche Monate mit

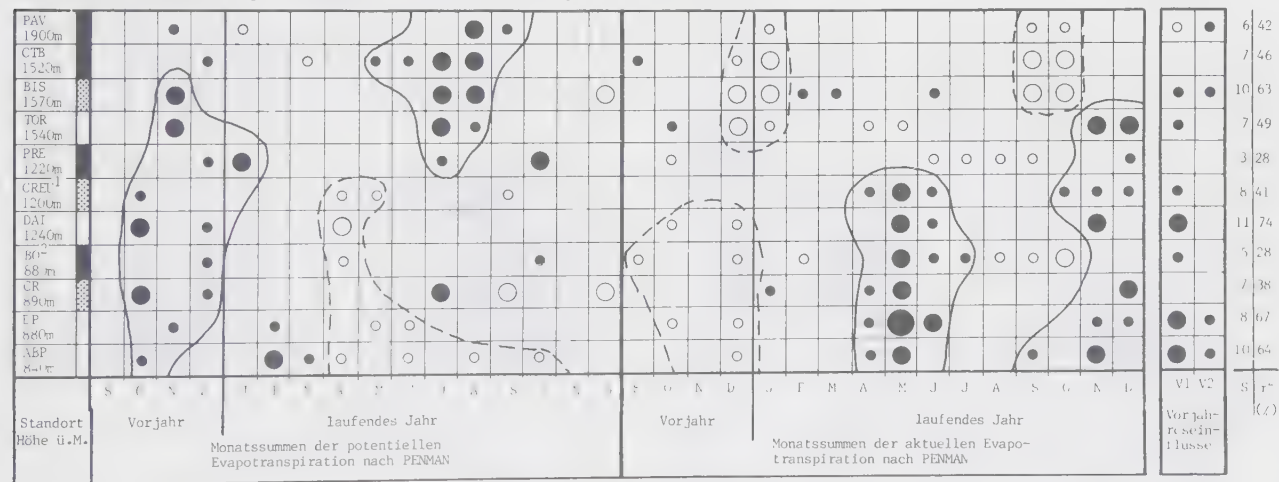
dem Jahrringwachstum wie bei den Temperatur-Niederschlagsmodellen. Die potentielle Evapotranspiration nimmt dabei den Platz der Temperaturen ein, die aktuelle Evapotranspiration den Platz der Niederschläge. In Hochlagen korreliert das Jahrringwachstum hauptsächlich mit der potentiellen Evapotranspiration. Die aktuelle Evapotranspiration, die eng mit dem Wasserhaushalt gekoppelt ist, erklärt das Jahrringwachstum hauptsächlich in tiefen Lagen. Stellvertretend für alle Berechnungen der 'response functions' mit Evapotranspirationsdaten findet man in der Abbildung 58 ein repräsentatives Beispiel für das Walliser Rhonetal, den Jahrringparameter maximale Dichte und die Evapotranspirationsformel nach PENMAN.

Detaillierter Modellvergleich (Abbildung 58). Zwischen den Evapotranspirationsmodellen und den Temperatur-Niederschlagsmodellen treten folgende Unterschiede auf:

Allgemeine Tendenzen:

- Die Beeinflussung durch die Evapotranspiration ist auf weniger Monate zusammengedrängt.
- Standortliche Unterschiede in der gleichen Höhenlage wirken sich weniger stark aus.

Walliser Rhonetal, Schweiz (1901 - 1977), Klimastation Sitten



¹ ab 1906 ² ab 1904

Abbildung 58: Generalisierte 'response functions' der längstmöglichen Untersuchungsperioden des Jahrringparameters maximale Dichte und der unabhängigen Variablen der Evapotranspiration. Jede Standortchronologie wird mit den signifikant beeinflussenden Monaten der potentiellen und der aktuellen Evapotranspiration charakterisiert. Ferner ist der zugehörige Vorjahreseinfluss sowie der Erklärungsgrad der Varianz (r^2) beim letzten noch signifikanten Schritt (S) angegeben (Signifikanzniveau: 95%). Die wichtigsten generellen Einflüsse sind mit Linien abgegrenzt. Die Evapotranspirationsmodelle zeigen von den Einflussmonaten her grosse Übereinstimmungen mit den Temperatur-Niederschlagsmodellen.

- Feuchte Standorte □ Mittlere Standorte □ Trockene Standorte
- Positive Korrelationen ○ Negative Korrelationen (vgl. Abbildung 54)

Potentielle Evapotranspiration:

- Höhenunabhängiger, positiv korrelierter Einfluss der Herbstmonate des Vorjahres.
- Positiv korrelierter Einfluss der Sommermonate der laufenden Vegetationsperiode um rund einen Monat vorverschoben.

Aktuelle Evapotranspiration:

- Mit zunehmender Höhenlage zunehmend negativ korrelierter Einfluss der Herbstmonate des Vorjahres.
- Positiv korrelierte Herbstmonate der laufenden Vegetationsperiode im unteren Standortsbereich.
- Positiv korrelierter Einfluss während der Vegetationsperiode um rund zwei Monate vorverschoben. Die Vorverlegung zeigt, wie wichtig die Frühjahrsniederschläge für den Wasserhaushalt der ganzen Vegetationsperiode und damit auch für die maximale Dichte sind.

Der Erklärungsgrad der Evapotranspirationsmodelle

Allgemeine Tendenzen. Die Evapotranspirationsmodelle erbringen in den Walliser Beständen eine um durchschnittlich 3% erhöhte klimatisch erklärbare Varianz gegenüber den Temperatur-Niederschlagsmodellen. Diese Erhöhung, die nicht signifikant ist (t-Test, Signifikanzniveau: 95%), bezieht sich auf die

Jahrringparameter maximale Dichte, Jahrringbreite und minimale Dichte sowie auf die Evapotranspirationsformeln nach PENMAN, CHRISTIANSEN und THORNTHWAITE. Die durchschnittliche Verbesserung aller Standorte schwankt je nach Evapotranspirationsformel zwischen 0,5 und 4,2%. Die höchsten Werte erreicht die Formel nach PENMAN, gefolgt von THORNTHWAITE und CHRISTIANSEN. Diese Verbesserungen sind gering und erfüllen die gesetzten Erwartungen nicht. Allerdings handelt es sich um Mittelwerte aller untersuchten Standorte. Einzelne Bestände und Jahrringparameter weisen eine Verbesserung von über 16% auf. In vielen Fällen ist der Erklärungsgrad aber auch verschlechtert.

Standörtliche Variabilität. Die erwähnte Abhängigkeit des Erklärungsgrades von Standort und Jahrringparameter wird in der Abbildung 59 graphisch dargestellt. Ferner wird auf die Tabelle 17 im Anhang hingewiesen, wo eine Zusammenstellung der erklärbaren Varianzanteile aller berechneten Modelle zu finden ist. Folgende Schlüsse können gezogen werden:

- Die Verbesserungen erreichen die generell höchsten Werte in den niederschlagssensitiven Mittel- und Tieflagen, wobei jeder Jahrringparameter sein eigenes Muster aufweist. Hochlagen weisen generell schlechtere Werte auf. Offenbar werden die Niederschläge von der aktuellen Evapotranspiration gut substituiert, während die potentielle Evapotranspiration die Temperaturen schlecht ersetzt.

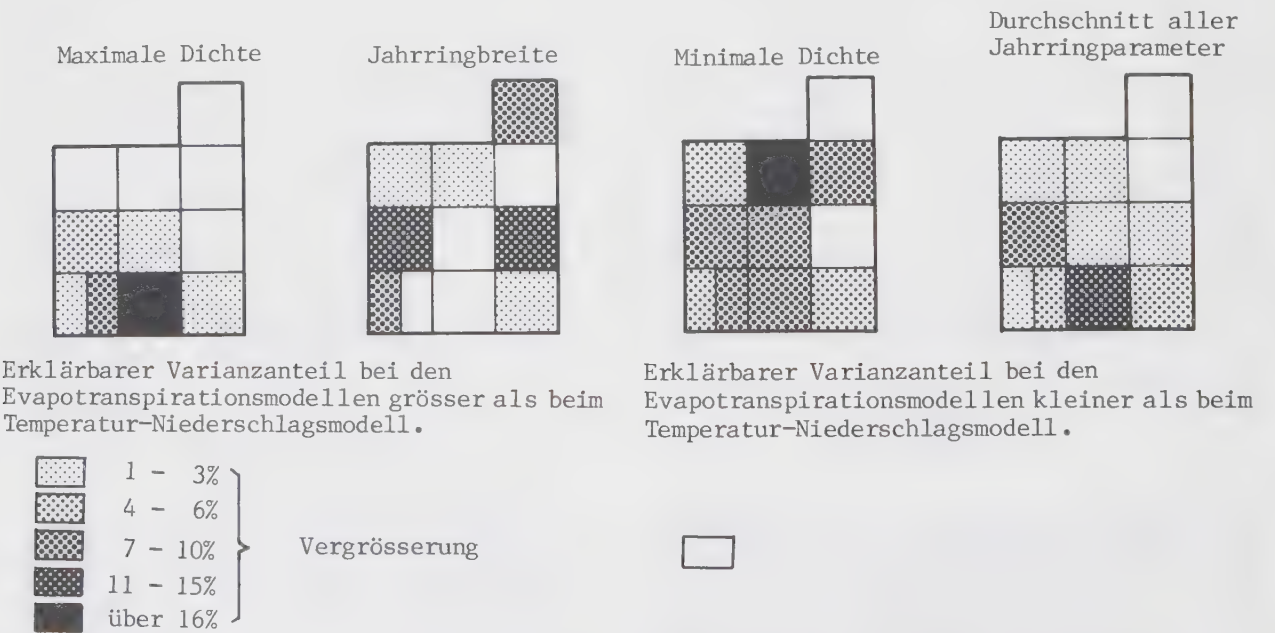


Abbildung 59: Vergleich der Evapotranspirationsmodelle und der Temperatur-Niederschlagsmodelle auf Grund des erklärten Varianzanteils. Die Untersuchung stützt sich auf den letzten noch signifikanten Schritt (Signifikanzniveau: 95%) der 'response functions' und auf die Evapotranspirationsformeln nach PENMAN, CHRISTIANSEN und THORNTHWAITE. Lediglich die minimale Dichte weist gemittelt über alle Standorte eine signifikante Verbesserung auf (t-Test, Signifikanzniveau: 95%). Die anderen Parameter erbringen gemittelt über alle Standorte keine signifikanten Verbesserungen.

- Die Evapotranspirationsmodelle steigern den Erklärungsgrad der Varianz bei der minimalen Dichte am stärksten, gefolgt von der Jahrringbreite und der maximalen Dichte. Bei der minimalen Dichte und den Evapotranspirationsformeln nach PENMAN und THORNTHWAITE stellt man gemittelt über alle Standorte eine signifikante Verbesserung fest (t-Test, Signifikanzniveau: 95%).

Der multivariate statistische Vergleich zwischen den berechneten Evapotranspirationsdaten und dem Jahrringwachstum erbringt bezüglich Erklärungsgrad der Varianz nicht die erhofften Verbesserungen. Für die Evapotranspirationsformeln nach PENMAN, CHRISTIANSEN und THORNTHWAITE sowie die Jahrringparameter maximale Dichte, Jahrringbreite und minimale Dichte ergibt sich im Mittel aller Standorte des Walliser Rhonetals eine nicht signifikante Verbesserung von rund 3%. Die Verbesserung schwankt allerdings in Abhängigkeit vom Standort, der Evapotranspirationsformel und dem Jahrringparameter. Niederschlagssensitive Tieflagen zeigen die grössten und zum Teil signifikanten Verbesserungen, während temperatursensitive Hochlagen weitgehend Verschlechterungen aufweisen. Bei der minimalen Dichte ist die Verbesserung grösser als bei der maximalen Dichte. Die Jahrringbreite nimmt eine Mittelstellung ein. Der Vorteil der Evapotranspirationsberechnung liegt nicht im multivariaten statistischen Vergleich mit den Jahrringsequenzen, sondern in der eindeutig verbesserten qualitativen Einzeljahresanalyse.

5.6.4 'Response functions' mit Einzeljahresgruppen

Aus der Einzeljahresanalyse geht klar hervor, dass die kambiale Aktivität in klimatischen Extremjahren stark vom durchschnittlichen Reaktionsmuster abweichen kann. So beobachtet man beispielsweise in montanen und subalpinen Waldbeständen mit durchschnittlich temperatursensitivem Jahrringwachstum in extrem niederschlagsarmen Jahren oft eine durch Trockenheit bedingte Reduktion der kambialen Aktivität. Die 'response functions', die an solchen Standorten für die längstmöglichen Zeitperioden berechnet werden, zeigen aber häufig keine dieser extremen Einflüsse. Sie geben definitionsgemäss die durchschnittlichen Beziehungen zwischen der kambialen Aktivität und der Witterung wieder. Weniger häufige Reaktionen werden verwischt oder gar überdeckt.

Die Kombination der 'response functions' mit der Einzeljahres- und Gruppenanalyse soll aus der Mittelwertbetrachtung herausführen und mithelfen, die Resultate der 'response functions' zu relativieren. Das herkömmliche Untersuchungsschema, bei dem die 'response functions' nur über lange Zeitperioden berechnet werden, soll aufgebrochen und die multivariate Methode auf einzelne Jahresgruppen angewendet werden. Man erhofft sich damit eine Ergänzung der statistischen Aussagen über die mittlere Witterungsbeeinflussung an den einzelnen Standorten.

Vorgehen. Zuerst wurden die Jahre aller Jahrringchronologien im standörtlichen Uebergangsbereich in temperatur- bzw. niederschlagssensitive Jahresgruppen eingeteilt, je nachdem zu welchem Extremstandort die Werte der einzelnen Jahrringparameter tendenzmässig zugeordnet werden konnten (vgl. Kapitel 5.2 und Tabelle 9). Anschliessend erfolgte die Berechnung der 'response functions' für die temperatur- bzw. für die niederschlagssensitiven Jahresgruppen und der Vergleich mit den 'response functions' der längstmöglichen Zeitperioden.

Das Verfahren ist nur dann anwendbar, wenn in den einzelnen Gruppen genügend Beobachtungspaare zur Verfügung stehen. Diese Voraussetzung ist an Standorten im Uebergangsbereich mit möglichst starken interanuellen Schwankungen der Witterungsbeeinflussung oft erfüllt. Ferner sollten Jahrringparameter mit möglichst geringer Autokorrelation gewählt werden, weil die ursprüngliche Zeitreihe bei der Gruppenbildung aufgelöst wird (CROPPER, 1983, mündliche Mitteilung). Die Parameter maximale Dichte und Spätholzbreite erfüllen diese Bedingung.

Beispiele und Resultate. Das beschriebene Verfahren ist in den Abbildungen 60 und 61 beispielhaft dargestellt. Die mit Hilfe der Einzeljahresanalyse dem unteren Extremstandort zugeordneten Jahre (unterer Diagrammteil) sind auch auf Grund der entsprechenden 'response functions' überwiegend niederschlags-

Niwot Ridge (NIWO), Front Range, 3400 Meter ü.M., *Picea engelmannii* Parry
Maximale Dichte

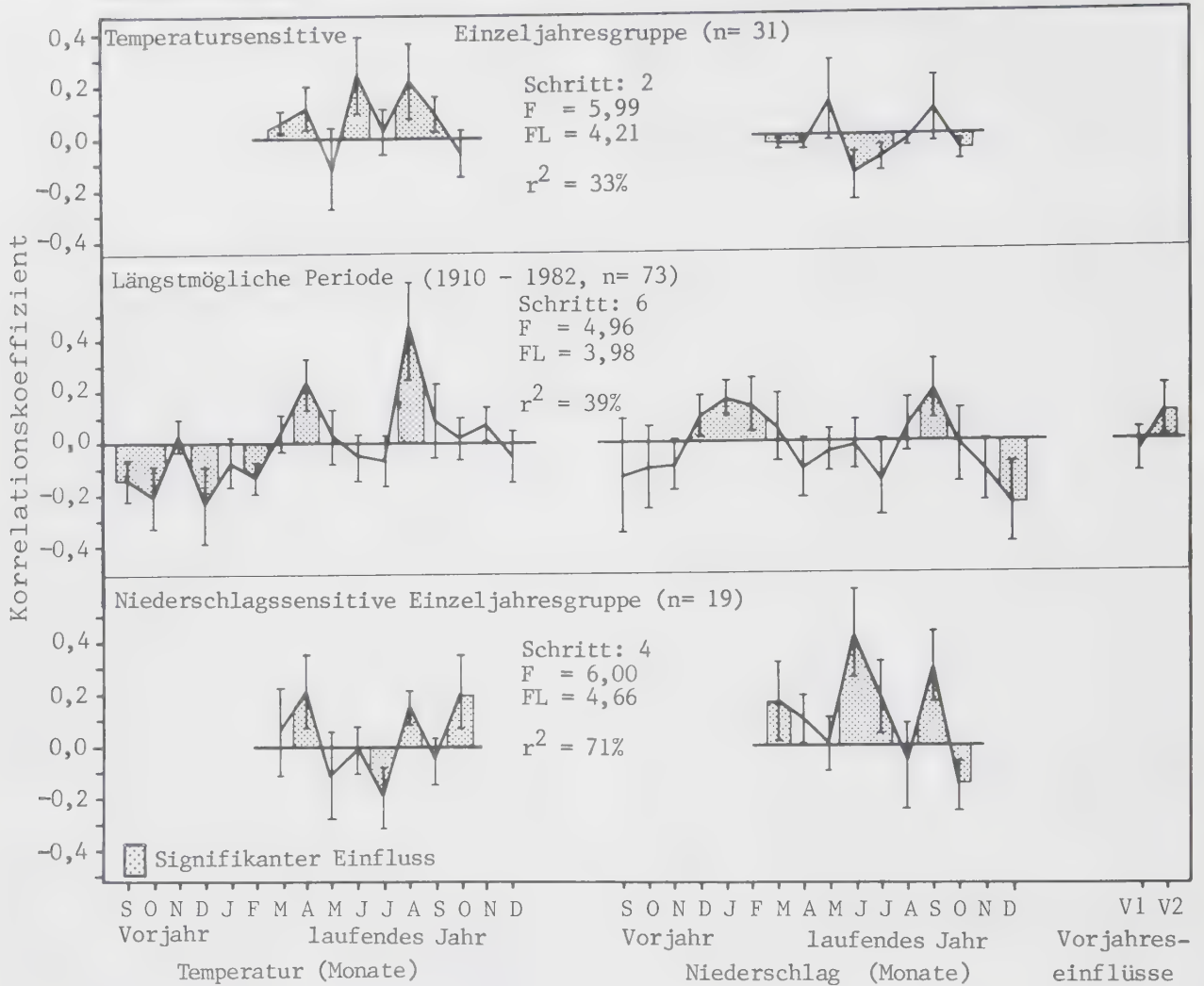


Abbildung 60: 'Response functions' der Standortschronologie Niwot Ridge (NIWO) für die Periode 1910 - 1982 und für Einzeljahresgruppen. Statistische Angaben: Anzahl Beobachtungspaare (n), Schrittzahl und zugehöriger F-Testwert (F), kritischer F-Testwert für das 95%-Signifikanzniveau (FL), erklärbare Varianz (r^2). Als Klimamessreihe dienen die Aufzeichnungen der Klimastation Denver. Die 'response function' der niederschlagssensitiven Jahre belegt, dass die maximale Dichte an diesem amerikanischen Trockenstandort an der oberen Waldgrenze in über 20% aller Jahre von den Niederschlägen limitiert wird. Die Berechnung für die temperatursensitiven Jahre zeigt den überwiegenden Temperatureinfluss, der bereits in der 'response function' der längstmöglichen Periode angedeutet ist.

sensitiv. Der Temperatureinfluss ist gering. Anders steht es mit der temperatursensitiven Jahresgruppe (oberer Diagrammteil). Hier tritt der Niederschlagseinfluss in den Hintergrund, während der Temperatureinfluss vorherrscht. Die 'response functions' der temperatur- und der niederschlagssensitiven Jahresgruppen ergänzen und relativieren die mittleren Aussagen der 'response functions' über die längstmögliche Periode (mittlerer Diagrammteil). Vergleicht man die Resultate der beiden Standorte detailliert, so lassen sich einige wesentliche Unterschiede feststellen. Im Gegensatz zum feuchten, mässig hoch gelegenen

Standort Prés des Champs (PRE, Abbildung 61) umfassen beim trockenen Waldgrenzstandort Niwot Ridge (NIWO, Abbildung 60) beide Einzeljahresgruppen relativ viele Jahre. Dies bewirkt, dass sich beide Einflüsse bei der Berechnung der 'response functions' der längstmöglichen Periode durchsetzen können. Aus dem Beeinflussungsmuster der ganzen Periode lässt sich in diesem Fall sowohl die teilweise Temperaturabhängigkeit als auch die teilweise Niederschlagsabhängigkeit herauslesen. Demgegenüber widerspiegelt die 'response function' der längstmöglichen Periode des Standortes Prés des Champs (PRE) nur den dominierenden Einfluss der Temperaturen. Die

**Prés des Champs (PRE), Walliser Rhonetal, 1220 Meter ü.M., Picea abies (L.) Karst.
Maximale Dichte**

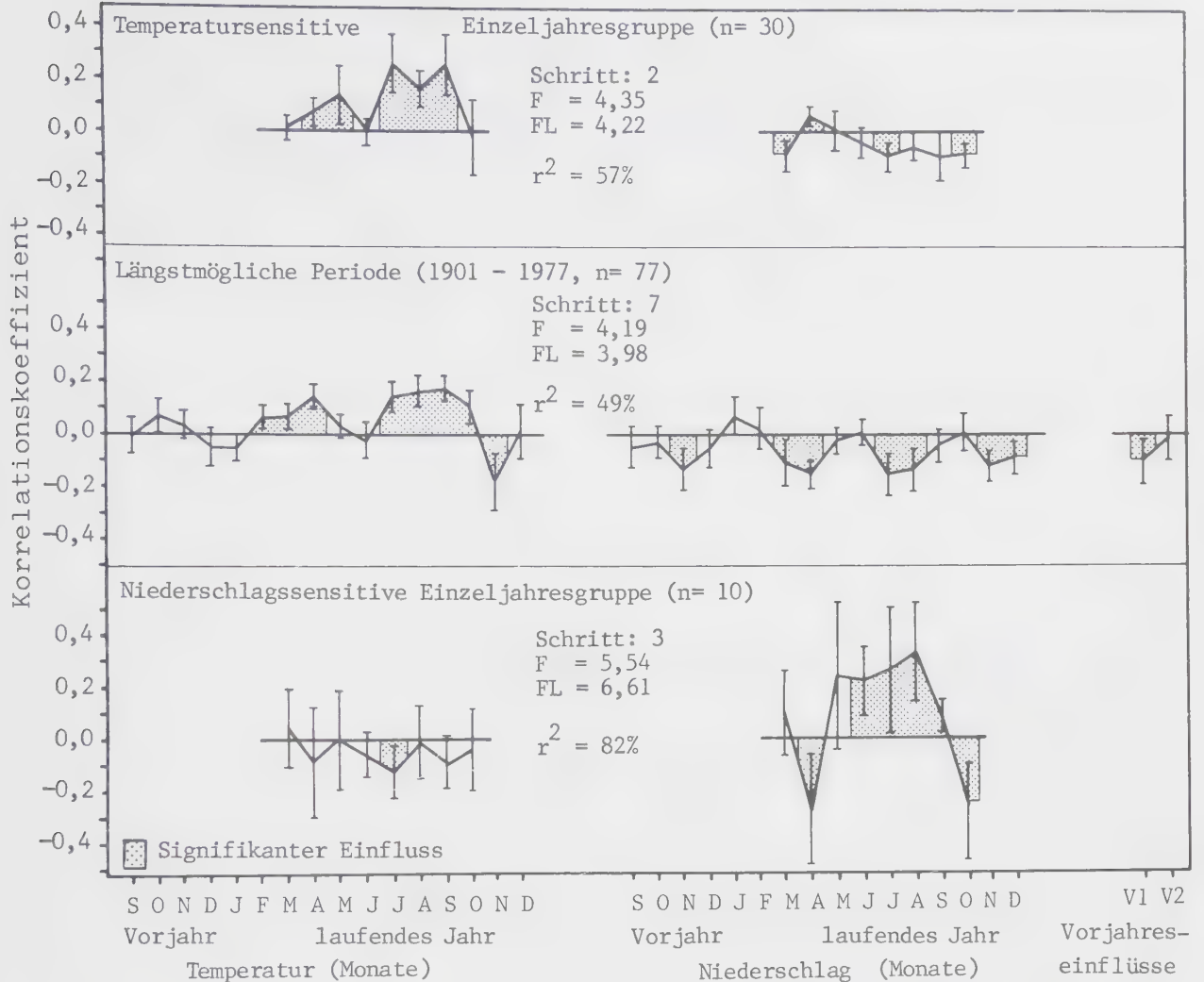


Abbildung 61: 'Response functions' der Standortschronologie Prés des Champs (PRE) für die Periode 1901 - 1977 und für Einzeljahresgruppen. Statistische Angaben: Anzahl Beobachtungspaare (n), Schrittzahl und zugehöriger F-Testwert (F), kritischer F-Testwert für das 95%-Signifikanzniveau (FL), erklärbare Varianz (r^2). Als Klimamessreihe dienen die Aufzeichnungen der Klimastation Sitten. Die 'response function' der niederschlagssensitiven Jahresgruppe erreicht vom F-Testwert her das 95%-Signifikanzniveau nicht. Die Kurve belegt unter gewissen statistischen Vorbehalten, dass die maximale Dichte in mindestens 13% aller Jahre von den Niederschlägen limitiert wird. Die 'response function' der temperatursensitiven Jahresgruppe bestätigt die Temperaturabhängigkeit der maximalen Dichte, die aus der 'response function' der längstmöglichen Periode bereits ersichtlich ist.

zahlenmässig unterlegene, niederschlagssensitive Einzeljahresgruppe vermag das Beeinflussungsmuster der ganzen Periode nicht zu verändern. Würde in diesem Fall nur die 'response function' der längstmöglichen Periode zur Verfügung stehen, bliebe der Niederschlagseinfluss, der immerhin rund 13% aller Jahre prägt, unerkant. Einschränkend muss bei diesem Bestand festgehalten werden, dass die absolute Anzahl niederschlagssensitiver Jahre unter der kritischen Zahl von Beobachtungspaaren für die Berechnung der 'response functions' liegt (CROPPER 1983, mündliche

Mitteilung). Ferner erreicht die Berechnung nicht mehr ganz die 95%-Signifikanzgrenze. Die Resultate sind folglich vorsichtig zu interpretieren.

Zwei wichtige Ergebnisse sind hervorzuheben:

- Die Analysen bestätigen die Resultate der Einzeljahres- und Gruppenuntersuchungen. Danach steht nun auch auf Grund traditioneller Methoden statistisch fest, dass der Niederschlag das Jahrringwachstum je nach Standort bis an die obere Waldgrenze be-

grenzen kann. Umgekehrt lassen sich in tiefen Höhenlagen Standorte finden, deren Wachstum in gewissen Jahren von den Temperaturen limitiert wird.

- Das mittlere Beeinflussungsmuster der 'response functions' kann mit Hilfe der Einzeljahresanalyse aufgebrochen und relativiert werden. Weniger häufige Ereignisse lassen sich statistisch erfassen.

Die Kombination der Einzeljahres- und Gruppenanalyse mit der Methode der 'response functions' ist eine wertvolle Ergänzung der beschriebenen dendroökologischen Verfahren. Ferner hilft sie mit, die Aussagen der 'response functions' zu relativieren. In der vorliegenden Untersuchung gelang es, Einflüsse sichtbar zu machen, die statistisch gesehen nur alle 8 bis 10 Jahre auftreten, und die auf Grund der herkömmlichen Berechnungen der 'response functions' unerkannt oder verwischt geblieben wären.

5.7 Methodenvergleich: Einzeljahres- und Gruppenanalysen im Vergleich mit den 'response functions'

In diesem Kapitel werden die Resultate der Einzeljahres- und Gruppenanalysen mit den Resultaten der 'response functions' verglichen und die Anwendungsbereiche der beiden Methoden kritisch betrachtet.

5.7.1 Vergleich der Hauptbeeinflussungsmonate der Witterung

Die Abbildung 62 zeigt einen Vergleich der Witterungsanalysen der beiden Methoden in Bezug auf die Jahrringparameter maximale Dichte und Jahrringbreite.

Maximale Dichte. Bei diesem Jahrringparameter lassen sich die Untersuchungsräume am klarsten auseinanderhalten. Die Hauptbeeinfluss-

sungsmonate der Witterung wurden bereits in früheren Kapiteln detailliert erläutert. Dieser Aspekt wird deshalb nur kurz erwähnt. Während die maximale Dichte an den temperatursensitiven Standorten des Walliser Rhonetals und des Juras hauptsächlich von den Sommertemperaturen gesteuert wird, lässt sich beim Untersuchungsraum der Front Range eine Ververlegung um ein bis zwei Monate beobachten. Etwas deutlicher sind die erwähnten Erscheinungen bei den Niederschlägen. Im Troodosgebirge zeigt sich ein Beeinflussungsunterbruch oder negative Korrelationen während der sommertrockenen Zeit. Diese Erscheinung drückt sich sowohl bei den Temperaturen als auch bei den Niederschlägen aus. Die Übereinstimmung zwischen den beiden Methoden ist bei den Temperaturen gross, während bei den Niederschlägen zum Teil grössere Abweichungen zu verzeichnen sind.

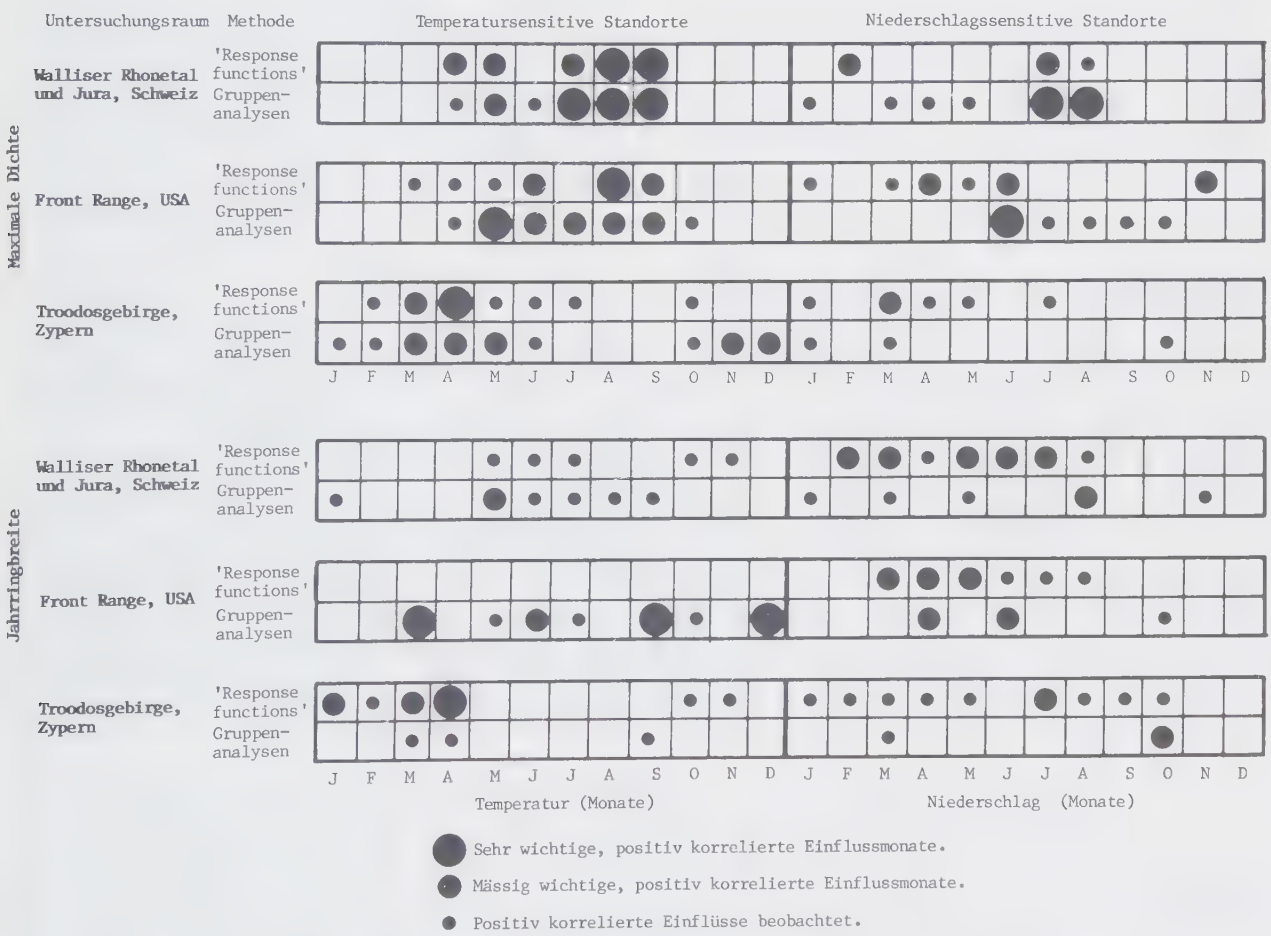


Abbildung 62: Vergleich der Resultate der 'response functions' und der Gruppenanalysen in Bezug auf die positiv korrelierten Hauptbeeinflussungsmonate der Witterung auf das Jahrringwachstum. Die Gebiete des Walliser Rhonetals und des Juras werden wegen sehr ähnlicher Muster zusammengezogen. Sowohl bei den 'response functions' als auch bei den Gruppenanalysen wird dargestellt, wie häufig und wie intensiv gewisse Monate der Witterung das Wachstum steuern. Die Bewertung erfolgt auf Grund der Daten aus den Abbildungen 55, 56 und 41 bis 48. Die beiden Methoden stimmen bei der maximalen Dichte besser überein als bei der Jahrringbreite.

Jahrringbreite. Im Gegensatz zur maximalen Dichte wird die Jahrringbreite oft von der ganzen Vegetationsperiode beeinflusst. Der Niederschlagseinfluss ist oft prägender als der Temperatureinfluss. Die verschiedenen Untersuchungsräume sind nicht so deutlich voneinander trennbar wie bei der maximalen Dichte, und die Übereinstimmung zwischen den beiden Methoden ist schlechter. Besonders deutlich zeigt sich dies beim Untersuchungsraum der Front Range, wo die Methode der 'response functions' an den temperatursensitiven Standorten keine Beziehungen zwischen der Temperatur und der Jahrringbreite ergibt. Die Methode der Gruppenanalysen zeigt hingegen einen relativ grossen Temperatureinfluss.

Die Methoden der 'response functions' und der Gruppenanalysen ergeben in Bezug auf die Hauptbeeinflussungsmonate der Witterung auf das Jahrringwachstum ähnliche Resultate. Die Übereinstimmung ist bei der maximalen Dichte grösser als bei der Jahrringbreite, wo in gewissen Untersuchungsräumen grosse Unterschiede zu beobachten sind. Die Gruppenanalyse kann aber als taugliches Verfahren angesehen werden, mit dem die wichtigsten Witterungseinflüsse auf das Jahrringwachstum erfasst werden können.

5.7.2 Vor- und Nachteile der beiden Methoden

Die beiden Methoden können nicht nur in Bezug auf die Hauptbeeinflussungsmonate der Witterung miteinander verglichen werden, sondern auch bezüglich ihrer Vor- und Nachteile sowie der Anwendungsmöglichkeiten. Die Tabelle 11 gibt darüber Auskunft.

Die Vorteile der 'response functions' liegen in der schnellen Verfügbarkeit dendroklimatologischer Aussagen. Das Verfahren ist aber auf eine relativ gut ausgebaute Infrastruktur im EDV-Bereich angewiesen und erlaubt lediglich Aussagen über die mittlere Witterungsbeeinflussung des Jahrringes. Demgegenüber kann die Einzeljahres- und Gruppenanalyse dendroökologische Informationen in jährlicher Auflösung liefern. Sie ist einfach anwendbar, braucht aber pro Untersuchungsraum viele Standortschronologien und ist zeitintensiv. Die Kombination der beiden Methoden bringt die umfassendsten dendroklimatologischen und dendroökologischen Informationen.

Methode	Vorteile	Nachteile	Empfohlene Anwendung
'Response functions'	Aussagen über die durchschnittliche Witterungsbeeinflussung ganzer Perioden rasch erhältlich. Alle Jahre fliessen in die Berechnungen ein.	Lediglich durchschnittliche Witterungsbeeinflussung erfassbar. Weniger häufige Einflüsse oder Extremjahre oft verwischt oder unterdrückt. Viele 'response functions' nötig für allgemeine Aussagen.	Laboratorien mit gut ausgebauter EDV-Infrastruktur und entsprechender statistischer Software. Aufgaben und Interessen in den Bereichen 'klimatologische Netzwerke' und 'dendroklimatologische Rekonstruktionen'.
Einzeljahres- und Gruppenanalysen	Extremjahre sowie durchschnittliche Witterungsbeeinflussung erfassbar. Oekologische Informationen einzeljahresweise erhältlich. Einfaches Berechnungsverfahren.	Vorläufig nur 40 bis 65% aller Jahre in Hauptgruppen erfasst. Sehr zeitintensiv. Viele Standorte pro Untersuchungsraum nötig.	Laboratorien ohne grosse EDV-Infrastruktur und statistische Software. Aufgaben und Interessen in dendroökologischen, standortkundlichen und vegetationskundlichen Bereichen.

Tabelle 11: Vor- und Nachteile der Methoden der 'response functions' und der Einzeljahres- und Gruppenanalysen.

5.8 Standortsempfehlungen für rezente und fossile Jahrringchronologien

Die Standortsempfehlungen bilden die Entscheidungsgrundlage für die Standortsauswahl in rezenten Jahrringnetzwerken und sollen die klimatologischen Aussagen fossiler Reihen erleichtern oder relativieren. Es werden Untersuchungsräume, Standortstypen und Jahrringparameter angegeben, die sichere Analysen und Rekonstruktionen der Temperaturen oder der Niederschläge zulassen.

Vorgehen. Der klimatologische Informationsgehalt aller Chronologien und Jahrringparameter wurde auf Grund der 'response functions' geprüft. Es wurden drei Gütekategorien gebildet, die angeben, wie stark die positiven Korrelationen zwischen den einzelnen Jahrringparametern der Chronologie und den Klimaelementen Temperatur und Niederschlag sind. Die Gütekategorien geben damit Auskunft über die Eignung des betreffenden Jahrringparameters für klimatische Analysen und Rekonstruktionen.

In der Abbildung 63 ist die Eignung aller untersuchten Chronologien der maximalen Dichte und der Jahrringbreite graphisch dargestellt. Das Schema kann in den angegebenen Untersuchungsräumen auf rezente und fossile Reihen angewendet werden. Da sich die vorliegenden Empfehlungen auf heutige Klima- und Vegetationsverhältnisse stützen, bleibt vorerhand ungeklärt, wie sich die empfohlenen Höhenlagen in Kaltphasen nach unten verschieben.

Eignung für dendroklimatologische Analysen und Rekonstruktionen der Temperaturen (für heutige Klimaverhältnisse). Die in Frage kommenden Standorte liegen generell im Bereich der oberen Waldgrenze. Die maximale Dichte eignet sich besser als die Jahrringbreite und deckt ein grösseres Standortsspektrum ab. Im Jura eignen sich zum Beispiel die Chronologien der maximalen Dichte bis in die tiefsten, feuchten Lagen. Extrem schlecht eignet sich die Jahrringbreite im Walliser Rhonetal und in der Front Range, während hier die maximale Dichte gute Resultate verspricht. Im Troodosgebirge sind etwa beide Parameter gleich gut geeignet. Die minimale

Dichte und die Frühholzbreite, die nicht dargestellt werden, sind für Temperaturanalysen und -rekonstruktionen im ganzen Standortsbereich ungeeignet. Für die Spätholzbreite gelten praktisch die gleichen Aussagen wie für die Jahrringbreite. Nur im Untersuchungsraum der Front Range ist die Spätholzbreite im Bereich der oberen Waldgrenze für Temperaturanalysen besser geeignet als die Jahrringbreite und zeigt gewisse Ähnlichkeiten zur maximalen Dichte.

Eignung für dendroklimatologische Analysen und Rekonstruktionen der Niederschläge (für heutige Klimaverhältnisse). Die in Frage kommenden Standorte liegen generell in trockenen Tieflagen. Die Jahrringbreite ist besser geeignet als die maximale Dichte und deckt ein sehr grosses Standortsspektrum ab, das im Wallis seine grössten Ausmasse erreicht. An den Trockenstandorten einzelner Untersuchungsräume korreliert die Jahrringbreite bis an die obere Waldgrenze mit den Niederschlägen, während sich die für Rekonstruktionen günstigen Standorte der maximalen Dichte auf trockene Tief- und Mittellagen beschränken. Die minimale Dichte und die Frühholzbreite eignen sich lediglich im untersten, trockensten Standortsbereich für Rekonstruktionen oder Analysen der Niederschläge. Die Spätholzbreite ist praktisch dekungs- gleich mit der Jahrringbreite.

Geographischer Geltungsbereich. Ungeklärt ist bei den vorliegenden Resultaten der makroklimatische Geltungsbereich der verschiedenen Untersuchungsräume. Aus klimatologischen Gründen dürften die Resultate aus dem Walliser Rhonetal für die Trockengebiete des zentralen Alpenraumes repräsentativ sein. Die Ergebnisse aus dem Jura können vermutlich auf das zentrale nördliche Voralpengebiet übertragen werden. Der Geltungsbereich der Resultate aus der Front Range dürfte im steppenhaften Ostabhang der zentralen Rocky Mountains liegen. Der geographische Geltungsbereich der Resultate aus dem Troodosgebirge wird auf Grund der vorliegenden Ergebnisse vorerst nicht weiter ausgedehnt. Ungelöst bleibt auch weiterhin das Problem der Standortskennntnis bei fossilen Reihen. In Zukunft könnten eventuell standörtliche Eigenschaften über den Weg der Basis- und Chronologiestatistik erfasst werden.

Untersuchungsraum						
		Walliser Rhonetal, Schweiz	Jura, Schweiz	Front Range, USA	Troodosgebirge, Zypern	Allgemein
Eignung für Analysen und Rekonstruktionen der Temperaturen	Maximale Dichte					
	Empfehlungen	Ueber 1600 m: Alle Standortstypen 1200 - 1600 m: Feuchte Lagen	Ueber 700 m: Feuchte Lagen	Ueber 2500 m: Feuchte Lagen	Ueber 1900 m: Feuchte Lagen	Hohe bis mittlere, feuchte bis mässig feuchte Lagen.
	Jahrringbreite					
	Empfehlungen	Ueber 1900 m: Feuchte Lagen	Ungeeignet	Ungeeignet	Ueber 1600 m: Feuchte Lagen	Nur höchste, feuchte Lagen
Eignung für Analysen und Rekonstruktionen der Niederschläge	Maximale Dichte					
	Empfehlungen	Unter 1200 m: Trockene Lagen	Unter 700 m: Trockene Lagen	Unter 2000 m: Alle Standortstypen 2000 - 2700 m: Trockene Lagen	Unter 1600 m: Trockene Lagen	Nur trockene, tiefe bis mittlere Lagen.
	Jahrringbreite					
	Empfehlungen	Unter 1400 m: Alle Standortstypen	Ungeeignet	Unter 2000 m: Alle Standortstypen 2000 - 3400 m: Trockene Lagen	Unter 1600 m: Alle Standortstypen (mit Ausnahmen)	Tiefe und mittlere Lagen mit verschiedensten Standortseigenschaften.

Abbildung 63: Eignung der untersuchten Standorte und ausgewählter Jahrringparameter für dendroklimatologische Analysen und Rekonstruktionen sowie Standortsempfehlungen. Die Kategorien 'gut', 'mässig' und 'schlecht' werden gebildet, indem die 'response functions' der Abbildungen 55 und 56 auf ihre signifikant **positiven** Korrelationen zu den Temperaturen oder zu den Niederschlägen untersucht werden. Je nach der Einflussstärke erfolgt die Zuordnung zu einer der drei Gütekategorien. Alle Aussagen beziehen sich auf heutige klimatische Verhältnisse.

Die Eignung der untersuchten Standorte und Jahrringparameter für dendroklimatologische Analysen und Rekonstruktionen kann mit Hilfe der 'response functions' der längstmöglichen Perioden geprüft werden. Folgende Standorte und Jahrringparameter können unter heutigen klimatischen Verhältnissen empfohlen werden (nur positive Korrelationen berücksichtigt):

Temperaturanalysen und -rekonstruktionen:

- **Maximale Dichte** sehr gut geeignet: Hohe Lagen ziemlich unabhängig von den Standortbedingungen; mittlere und tiefe Lagen nur an feuchten Standorten. Idealstandorte: Feuchte Hochlagen.
- **Jahrringbreite** relativ schlecht geeignet: Nur extrem feuchte, höchste Lagen mit akzeptablen Informationen.

Niederschlagsanalysen und -rekonstruktionen:

- **Maximale Dichte** geeignet: Ausschliesslich Trockenstandorte tiefer bis mittlerer Höhenlage. Idealstandorte: Tiefe, trockene Lagen.
- **Jahrringbreite** sehr gut geeignet: Tiefe, mittlere und zum Teil hohe Lagen ziemlich unabhängig von den Standortbedingungen. Idealstandorte: Tieflagen, eher trocken.

Auf Grund der Resultate und Standortsempfehlungen sollten in Zukunft verschiedene fossile Netzwerke auf ihren dendroklimatologischen Informationsgehalt überprüft werden.

6 Jahrringwachstum und Waldschäden

Die Tieflagenstandorte des Untersuchungsraumes Wallis liegen in einer Zone starker Waldschäden. Frühere Arbeiten zeigen, dass es sich mit hoher Wahrscheinlichkeit um die Einwirkungen von Fluorimmissionen handelt, die durch klimatische und standörtliche Faktoren verstärkt wurden (FLUEHLER, 1981; KIENAST et al., 1981; SCHWEINGRUBER et al., 1983). Viele geschädigte Bäume weisen in den vierziger Jahren abrupte Wachstumsstörungen auf.

Mit radiodensitometrischen Analysen wurde versucht, diesen Wachstumseinbruch modellmässig zu erfassen, um unter anderem die Hypothesen eines rein klimatisch-, standörtlich- oder altersbedingten Absterbens zu überprüfen. Die Arbeiten von SCHWEINGRUBER et al. (1983) sowie NIEDERER und NIPPEL (1984) verfolgen zum Teil andere Zielsetzungen. Ihr Hauptanliegen ist der Aufbau eines flächenhaften Probennetzes, dessen Probestämme mit sehr einfachen jahrringanalytischen Methoden untersucht werden.

6.1 Zuwachsrückgang, Alterstrend und Witterungseinflüsse

Die Resultate dieses Unterkapitels wurden bereits in KIENAST (1982, 1985) publiziert. Untenstehend erfolgt lediglich eine kurze Zusammenfassung der wichtigsten Erkenntnisse.

Einfluss der Alterung. In den äusserlich geschädigten Tieflagenstandorten Les Arbepins (ABP) und Eponde (EP) stellt man sowohl in den Einzel- als auch in den Mittelkurven verschiedener Jahrringparameter einen Zuwachsrückgang fest. Um die Hypothese eines rein altersbedingten Absterbens zu testen, erfolgte der Ausgleich des Alterstrends bei den vier Tieflagenstandorten etwas anders als in den bisherigen Untersuchungen. Die Zuwachsfunktionen der Einzelkurven wurden nicht für die ganze Wachstumsperiode berechnet, sondern nur für eine möglichst lange, immissionsfreie Periode. Anschliessend erfolgte die Extrapolation in den beeinflussten Zeitabschnitt (vgl. auch POLLANSCHUETZ, 1971; NEUMANN und SCHIELER, 1981; ECKSTEIN et al., 1981). Mit der beschriebenen Methode konnte gezeigt werden, dass der Zuwachsrückgang in den geschädigten Beständen deutlich grösser ist als die natürliche Alterung. Die ungeschädigten Standorte haben keinen signifikanten Zuwachsrückgang.

Die Tatsache, dass in den untersuchten Kurven das äussere Schadenbild relativ gut mit dem Jahrringbefund übereinstimmt, bedarf einer Erklärung. Nach KONTIC und WINKLER-SEIFERT (1984) muss nämlich das innere und äussere Bild nicht übereinstimmen. Bei der Föhre geht

zum Beispiel das Jahrringbild dem äusseren Befund teilweise bis fünf Jahre voraus. Da es sich im vorliegenden Fall um langfristige Schadenperioden ohne sichtbare Regeneration handelt, ist anzunehmen, dass sich das innere Bild bereits dem äusseren Bild angeglichen hat. Vermutlich gilt dieser Befund aber nur für Bäume in der letzten Agoniephase und mit langandauernder Schädigung.

Einfluss der Witterung. Um einen anthropogen bedingten Zuwachsrückgang von Witterungseinflüssen zu unterscheiden, wurden die Korrelationen zwischen den Witterungsdaten und dem Jahrringzuwachs während der immissionsfreien Periode ermittelt. Anschliessend erfolgte die Schätzung der Jahrringparameter auf Grund der Klimadaten während der ganzen Periode, die mit klimatischen Messungen dokumentiert ist. Die Abweichungen zwischen den geschätzten und den gemessenen Jahrringkurven sollten sich bei gesunden Bäumen im Mittel aufheben. Systematische Abweichungen zwischen den beiden Kurven müssten auf nichtklimatische Fremdeinflüsse zurückzuführen sein. Als Witterungsdaten dienten die Monatsmittel der Temperaturen und der Niederschläge der meteorologischen Station Sitten. Mit Hilfe des t-Tests wurde bei sämtlichen Einzelbäumen geprüft, ob die berechneten Werte signifikant von den gemessenen Werten abweichen. Durchschnittlich ist der Schaden beim Parameter Spätholzbreite am deutlichsten feststellbar, gefolgt von der Jahrringbreite, der Frühholzbreite und der maximalen Spätholzdichte. Letztere reagiert offenbar träge auf nichtklimatische Einflüsse. Die Zuwachsverluste der geschädigten Bestände wurden auf die Extrapolationsperiode von 1941 bis 1979 bezogen. Gegenüber der berechneten, fiktiven Wachstumsleistung verzeichnet man in dieser Periode rund 20 bis 30% weniger Radialzuwachs und 30 bis 40% weniger Spätholzbreitenzuwachs. Gesunde Bäume sind dabei miteingeschlossen und Zuwachsvermindernde Einflüsse wie Trockenheit und Alterung bereits berücksichtigt.

In den geschädigten Waldbeständen sind Zuwachsrückgänge zu verzeichnen, die klar vom natürlichen Alterstrend abweichen. Mit multivariaten statistischen Wachstumsmodellen gelingt es ferner, die Einflüsse der Witterung von eventuellen Immissionseinflüssen zu trennen.

6.2 Zuwachsrückgang und Standortbedingungen

Die Einzeljahresanalyse ermöglichte einen jahresweisen Standortvergleich zwischen den geschädigten Waldbeständen und anderen trockenen Probestflächen und erlaubte damit Aussagen über standörtlich bedingte Schadenursachen. Die Methode bietet in dieser Hinsicht interessante Möglichkeiten für künftige Waldschadenuntersuchungen.

Es zeigt sich zum Beispiel, dass das Jahrringwachstum der Bäume im jahrringanalytisch ungeschädigten, trockenen Waldbestand mittlerer Höhenlage den beiden geschädigten Tieflagenbeständen am ähnlichsten ist. In einzelnen Trockenperioden, so auch in den möglicherweise schädigenden trockenen vierziger und sechziger Jahren, ist das Wachstum in allen drei Beständen ähnlich stark reduziert. Im mittel hoch gelegenen Trockenstandort resultiert aber aus dieser Stressperiode keine dauernde Beeinträchtigung der kambialen Aktivität, wie sie bei den geschädigten Trockenstandorten zu verzeichnen ist. Dieser Befund würde die Hypothese der rein standörtlich bedingten Schadenursachen widerlegen. Demgegenüber steht aber die Beobachtung, dass die durchschnittliche Niederschlagssensitivität im mittel hoch gelegenen Trockenstandort tatsächlich geringer ist als in den extrem niederschlagsabhängigen, geschädigten Tieflagen (Abbildung 52). Diese Beobachtung legt den Schluss nahe, dass die standörtliche Ungunst der geschädigten Bestände für die Schadenhäufung verantwortlich ist.

Die beiden entgegengesetzten Aussagen zeigen, dass die Standortbedingungen unter Umständen wesentlich zur Schadenhäufung beitragen können. Als alleinige Gründe scheiden sie hingegen aus. Vielmehr kann man annehmen, dass der trockene Waldbestand mittlerer Höhenlage unter anderem deshalb ungeschädigt ist, weil er über der durchschnittlichen Höhenlage der Inversionsschicht liegt und den Fluoriden weniger ausgesetzt war.

Mit der Einzeljahresanalyse gelingt es, die ungeschädigten und die geschädigten Standorte jahresweise miteinander zu vergleichen. Dabei zeigt sich, dass die Standortbedingungen unter Umständen wesentlich zur Schadenhäufung beitragen können. Als alleinige Schadenursachen scheiden sie jedoch aus. Das beschriebene Vorgehen kann für künftige Waldschadenuntersuchungen empfohlen werden.

6.3 Schadenursachen

Die Analyse der Standortskurven zeigt, dass ein Schadeneinfluss vorliegt, der nicht primär auf die natürlichen, wachstumsvermindernden Faktoren wie Trockenheit, Alterung und standörtliche Ungunst zurückzuführen ist. Die geschädigten Bäume erreichen während der immissionsgefährdeten Periode in praktisch keinem Jahr den klimatisch, altersmässig und standörtlich möglichen Zuwachs, wie er noch anfangs des 20. Jahrhunderts festzustellen war. Zusätzliche Stressfaktoren müssen das Wachstum eingeschränkt haben. Ob die Waldbestände durch die Fluorimmissionen der Aluminiumfabrik Martigny geschwächt wurden, kann nicht kausal nachgewiesen werden. Die folgenden Interpretationen sind deshalb als Indizien zu werten. Sie zeigen aber deutlich, dass der Fluoreinfluss eine stichhaltige Erklärung der Ergebnisse ist.

Vor 1938 lag die Aluminiumfabrik Martigny abseits des Haupttales am Eingang des Val de Bagnes. Im Jahre 1938 wurde die Produktion in die neue Anlage im Hauptwindbereich des Rhonetals verlegt, wo der Betrieb von 1940 bis 1945 eingestellt blieb. Die Produktion am neuen Standort (1938, 1939, ab 1945) muss die Immissionssituation tiefgreifend verändert haben, denn in den anschliessenden Trockenperioden (1942 - 1944, 1947, 1949) stellt man anhand der Jahrringkurven erste Wachstumshemmungen fest. Die Fluorverbindungen wurden am Anfang ungefiltert an die Umgebung abgegeben. Deshalb genügte vermutlich bereits die kurze Immissionsperiode der späten dreissiger Jahre, um die Bäume derart zu schwächen, dass sie den natürlichen Stressfaktoren nicht mehr gewachsen waren. Nach der erneuten Produktionsaufnahme im Jahre 1945 folgten im Trockenjahr 1947 weitere Schädigungen. Viele Bäume weisen bis in die siebziger Jahre eine immer schwächere Wachstumsleistung auf und starben schliesslich endgültig ab.

Die jahrringanalytischen Untersuchungen in den tiefergelegenen, geschädigten Beständen des Walliser Rhonetals legen den Schluss nahe, dass die Bäume durch Fluorimmissionen derart geschwächt wurden, dass sie in Trockenjahren dem Niederschlagsstress nicht mehr standhielten und abstarben. Klimatische und standörtliche Ungunst sowie Ueberalterung allein können für den Schaden nicht verantwortlich gemacht werden. Der Immissionseinfluss kann nicht kausal nachgewiesen werden, ist aber eine plausible und stichhaltige Erklärung der Resultate.

7 Ausblick

Mit den vorliegenden Untersuchungen wurden viele der eingangs erwähnten Ziele erreicht. Verschiedene Problemstellungen und Fragen blieben aber unbeantwortet oder traten neu auf. Grössere Wissenslücken oder Ansatzpunkte für künftige Studien bestehen noch auf den untenstehenden Gebieten.

Einzeljahres- und Gruppenanalysen. Es stellt sich die Frage nach der Interpretation jener Jahre, die keinem der drei Hauptbeeinflussungsmuster zugeordnet werden konnten. Ihr prozentualer Anteil schwankt je nach Jahrringparameter und Untersuchungsraum zwischen 35 und 60% aller berücksichtigten Jahre.

Die Studie zeigt, dass ein Teil dieser Jahre mit einer verfeinerten Gruppeneinteilung durchaus systematisch erfasst werden könnte. Die Bildung solcher Detailgruppen würde mit-helfen, die komplexen Wechselwirkungen zwischen der Jahrringbildung, der Witterung, der Höhenlage und dem Standort noch genauer zu erfassen. Gerade in künftigen Waldschadenuntersuchungen dürfte der detaillierte, einzel-jahresweise Vergleich des Wachstums an ver-schiedenen Standorten wertvolle ökologische Informationen liefern.

Ein weiterer Fragenkomplex, der nur rudimen-tär beantwortet wurde, lautet: Wann erfolgt die Frühholz- und Spätholzbildung an den verschiedenen Standorten der berücksichtigten Höhenprofile? Zu diesem Zweck müssten klima-tologische Messungen in den Beständen durch-geführt und während der Vegetationsperiode zu verschiedenen Zeitpunkten Proben von dem sich bildenden Jahrring entnommen werden (LORIS, 1981).

Baumartenwahl. Das Problem des unterschiedli-chen Verhaltens verschiedener Baumarten am gleichen Standort konnte nicht abgeklärt werden. Die Höhererstreckung und die stand-örtlichen Unterschiede der Untersuchungsräume sind zu extrem, um an jedem Standort zusätz-lich zur Holzart der Chronologie noch Referenzproben zu gewinnen. Künftige Detailstu-dien sollten dem Problem Beachtung schenken.

Unterschiedliche Eignung der Untersuchungs-räume und Jahrringparameter. Die Frage nach der unterschiedlichen dendroklimatologischen und dendroökologischen Eignung der verschie-denen Untersuchungsräume konnte nicht endgül-tig beantwortet werden. An dieser Stelle sollen Gründe für die generell mässige bis schlechte Eignung der zypriotischen Chronolo-gien genannt werden. Für die Tieflagenstand-orte könnte ein möglicher Grund darin liegen, dass sich die Holzarten des Mittelmeerraumes der charakteristischen Sommertrockenheit an-gepasst haben. Die Witterungsanalyse lässt nämlich die Vermutung zu, dass viele Bäume ihr Wachstum während der sommertrockenen

Periode mindestens zeitweise einstellen. Der grösste Teil des Wachstums würde somit vor- und nachher, also während einer feucht-warmen Zeit stattfinden. Die Wahrscheinlichkeit, dass dann die Niederschläge das Jahrring-wachstum limitieren, ist geringer. Standört-liche und endogene Faktoren oder der Kon-kurrenzdruck könnten dafür das Wachstum umso mehr prägen. In den höheren Lagen Zyperns könnte die Jahrringinterpretation dadurch erschwert werden, dass das Kambium in einzel-nen kühl-feuchten Jahren durchaus von den Sommermonaten geprägt sein kann, während es aber seine Aktivität in trocken-warmen Jahren einstellt. Damit würde die Witterungsbeein-flussung von Jahr zu Jahr enorm schwanken und mittlere Aussagen wären schwer zu machen. Probenentnahmen in mehreren Zeitpunkten wäh-rend der Vegetationsperiode könnten zur Klä-rung des erwähnten Problems beitragen.

Einsatz der vereinfachten Methode des 'skeleton plot'. Die dendroökologischen Aussagen der 'skeleton plot'-Methode sind wesentlich gröber als diejenigen der radiodensitometri-schen Untersuchungen und die Anzahl auswert-barer Jahre ist kleiner. Eine optische Ver-feinerung der Jahrringansprache wäre die Voraussetzung für einen weiteren Einsatz der Methode in dendroökologischen Untersuchungen.

Jahrringmodelle. Mit Hilfe der Evapotranspi-rationsberechnungen und der Waldschadenunter-suchungen wurde versucht, die jahrringanaly-tische Modellbildung zu verbessern. Die ge-ringe Verbesserung des Erklärungsgrades durch die Evapotranspiration ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass sich die Berechnungen auf die Daten einer relativ weit entfernten Klimastation stützen. Damit können lokalkli-matische Eigenschaften der Standorte kaum berücksichtigt werden. Die Berechnung der Evapotranspiration mit Hilfe standortsbezogener Daten würde hier bestimmt eine weitere Verbesserung erbringen. Ferner sollten die jahrringanalytischen Wachstumsmodelle mit umfassenderen forstlichen und ökologischen Simulationsmodellen verknüpft werden (vgl. SHUGART et al., 1980, 1981; REICHLE et al., 1981).

Die grössten Wissenslücken der Untersu-chung liegen in der einzeljahresweisen Interpretation jener Jahre, die keinem der drei Hauptbeeinflussungsmuster zuge-ordnet werden können. Weitere unbeantwor-tete Fragen betreffen das Problem der Baumartenvermischung und die Gründe für die unterschiedliche Eignung der Untersu-chungsräume. Schliesslich blieben auch bei der jahrringanalytischen Modellbil-dung verschiedene Fragen offen.

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden die komplexen Beziehungen zwischen der Witterung und dem Jahrringwachstum an trockenen bis feuchten Standorten und zwischen extremen Hoch- und Tieflagen einzeljahresweise untersucht. Ferner wurden herkömmliche dendroklimatologische Methoden kritisch betrachtet und ihr dendroökologischer Informationsgehalt überprüft. Die Untersuchungen erlaubten es, Standortstypen und Jahrringmessgrößen zu empfehlen, die sichere dendroklimatologische Aussagen ermöglichen.

Als Untersuchungsräume dienten vier klimatisch unterschiedliche Gebiete: das Walliser Rhonetal und der Jura (Schweiz), das Troodosgebirge (Zypern) und die Front Range (Colorado, USA). Die Auswahl der Waldbestände erfolgte entlang von Höhenprofilen. Die Jahrringanalysen stützten sich auf radiodensitometrische Methoden (Abbildung 2).

Ergebnisse:

Einzeljahres- und Gruppenanalysen (Abbildungen 41 bis 51). Die einzeljahresweise Analyse des Jahrringwachstums erfolgte mit dendroökologischen Diagrammen (Abbildungen 1 und 38). Diese graphische Darstellungshilfe erlaubte es, die Intensität des kambialen Wachstums an den schematisch eingezeichneten Standorten eines Untersuchungsraumes mit verschiedenen Graustufen wiederzugeben. So liessen sich die Wechselbeziehungen zwischen der Witterung, den Standortseigenschaften, der Höhenlage und den Jahrringmessgrößen (Maximale Spätholzdichte, Jahrringbreite, Spätholzbreite, minimale Dichte) Jahr für Jahr erfassen. Es zeigte sich, dass die Standortverhältnisse (trockene bis feuchte Bedingungen) einen sehr grossen Einfluss auf die Jahrringbildung ausüben. Der Einfluss der Höhenlage tritt in Einzeljahren sogar oft in den Hintergrund. So wird die kambiale Aktivität von Bäumen an Trockenstandorten in niederschlagsarmen Jahren häufig bis in den subalpinen Bereich durch die Niederschläge limitiert. Kältejahre reduzieren hingegen das Wachstum von Bäumen aus feuchten Beständen oft bis in tiefe Lagen. Im Übergangsbereich zwischen den Extremstandorten schwankt die Stärke der Temperatur- bzw. Niederschlagsabhängigkeit von Jahr zu Jahr.

Die Einzeljahre konnten auf Grund der Diagrammmuster typisiert werden. Je nach Untersuchungsraum und Jahrringparameter liessen sich 40 bis 65% aller Jahre einer der drei nachstehenden Hauptgruppen zuordnen, die durch einen charakteristischen Witterungsverlauf ausgezeichnet sind:

- Kalt-feuchter Typus
- Warm-trockener Typus
- Kalt-trockener Typus

Der kalt-feuchte Typus ist im Mittel durch optimales Wachstum an den trockenen Tieflagen gekennzeichnet, während die Standorte an der oberen Waldgrenze eingeschränktes Wachstum haben. In warm-trockenen Jahren sind die Verhältnisse umgekehrt. Trockene Tieflagen weisen durchschnittlich eingeschränktes Wachstum auf, obere Waldgrenzstandorte reagieren positiv. Im Standortsbereich zwischen den beiden Extremlagen sind fliessende Uebergänge zu beobachten und das Jahrringwachstum wird je nach Standortsfeuchtigkeit überwiegend von den Temperaturen oder von den Niederschlägen limitiert. In kalt-trockenen Jahren ist das Jahrringwachstum an beiden Extremstandorten eingeschränkt. Im standörtlichen Uebergangsbereich herrschen dagegen optimale Wachstumsverhältnisse. Die Witterungsabläufe der drei Haupttypen unterscheiden sich im Mittel signifikant voneinander.

Im Walliser Rhonetal, im Jura und in der Front Range, USA waren mit der beschriebenen Methode klare Aussagen möglich. Die maximale Dichte eignet sich für die Untersuchungen generell besser als die Jahrringbreite. Die zypriotischen Standorte ergaben zum Teil schlecht interpretierbare Ergebnisse. Die Jahrringbreite eignet sich in diesem Untersuchungsraum besser als die maximale Dichte.

'Response functions'. Mit Hilfe der multivariaten statistischen Methode der 'response functions' wurden diejenigen Monate erfasst, in denen die Temperaturen oder die Niederschläge das Jahrringwachstum am entscheidendsten prägen (Abbildungen 55 bis 57).

Die maximale Dichte wird in den schweizerischen Beständen je nach Standort hauptsächlich von den Temperaturen oder den Niederschlägen des Sommerquartals beeinflusst. Ferner wirken sich hohe Frühjahrstemperaturen an den temperatursensitiven, höheren Standorten positiv aus. Tiefegelegene Bestände sind teilweise stark von den Niederschlägen im Herbst, Winter und Frühjahr abhängig. In der Front Range, USA, tritt die Hauptbeeinflussung durch die Witterung oft früher auf. Sie fällt vermehrt ins Frühjahr und in den Frühsommer. Dies gilt besonders für die Niederschläge. Im Troodosgebirge, Zypern, ist ein Beeinflussungsunterbruch während der sommertrockenen Zeit zu beobachten.

Die Jahrringbreite wird in den schweizerischen Beständen und in der Front Range bis in grosse Meereshöhen von den Niederschlägen der ganzen Vegetationsperiode und des Winters beeinflusst. Im Troodosgebirge ist der Beeinflussungsunterbruch während der sommertrockenen Zeit leicht angedeutet.

Vergleich und Kombination der Einzeljahres- und Gruppenanalysen mit den 'response functions'. Die Vorteile der 'response functions' liegen in der schnellen Verfügbarkeit dendroklimatologischer Aussagen. Das Verfahren erlaubt aber lediglich Aussagen über die mittlere Witterungsbeeinflussung des Jahrringes. Demgegenüber kann die Einzeljahres- und Gruppenanalyse dendroökologische Informationen in jährlicher Auflösung liefern. Sie ist einfach anwendbar, braucht aber pro Untersuchungsraum viele Standortschronologien und ist zeitintensiv. Die Kombination der beiden Methoden erbrachte die umfassendsten dendroökologischen Informationen. Zu diesem Zweck wurde die multivariate statistische Methode auf Einzeljahresgruppen angewendet (Abbildungen 60 und 61). So gelang es, Einflüsse statistisch zu erfassen, die im Mittel nur alle 8 bis 10 Jahre auftreten, und die auf Grund der herkömmlichen Berechnungen der 'response functions' über die längstmöglichen Perioden unerkant oder verwischt geblieben wären. Bei der Witterungsanalyse ergaben beide Methoden sehr ähnliche Resultate.

Evapotranspirationsmodelle und Waldschadenuntersuchungen (nur für die Bestände im Walliser Rhonetal). Der Versuch, das Jahrringwachstum mit Hilfe von simulierten Evapotranspirationsdaten besser erklären zu können, zeigte nicht die erhofften Resultate (Abbildungen 31 bis 34 und 59). Die Erhöhung der erklärbaren Varianz ist stark von den Standortverhältnissen abhängig. Gemittelt über alle Bestände konnten nur geringfügige, nicht signifikante Verbesserungen beobachtet werden. Der Vorteil der Evapotranspirationsberechnungen liegt in der verbesserten qualitativen Einzeljahresanalyse.

Der Zuwachsrückgang in den vermutlich fluorgeschädigten Tieflagenbeständen des Walliser Rhonetals liess sich modellmässig erfassen. Es steht fest, dass weder klimatische noch standörtliche Ungunst oder die Alterung

allein für die Zuwachsverluste verantwortlich sind. Diese Faktoren können hingegen bei geschwächten Individuen einen Schaden oder Zuwachsabfall auslösen.

Empfehlungen für die Standortsauswahl und die Jahrringmessgrössen (Abbildung 63). Die Standortsempfehlungen bilden die Entscheidungsgrundlage für die Standortsauswahl in rezenten Jahrringnetzwerken. Sie sollen die klimatologischen Aussagen fossiler Reihen erleichtern oder relativieren. Auf Grund der Resultate eignen sich unter heutigen klimatischen Bedingungen die nachstehend aufgeführten Jahrringparameter und Standorte für dendroklimatologische Analysen.

Jahrringmessgrössen und Standorte für Temperaturanalysen und -rekonstruktionen:

- Die maximale Dichte ist sehr gut geeignet (Ausnahme: zypriotische Bestände). In Hochlagen spielen die Standortverhältnisse (feucht, trocken) eine untergeordnete Rolle, was vor allem für fossile Hölzer ein grosser Vorteil ist. Positive Korrelationen sind an feuchten Standorten zum Teil bis in Tieflagen zu verzeichnen.
- Die Jahrringbreite ist mit Ausnahme der obersten feuchten Waldgrenzlagen ungeeignet.

Jahrringmessgrössen und Standorte für Niederschlagsanalysen und -rekonstruktionen:

- Die maximale Dichte ist gut geeignet, aber ausschliesslich in trockenen Tief- und Mittellagen.
- Die Jahrringbreite eignet sich bis in grosse Meereshöhen sehr gut. Die Standortseigenschaften spielen eine untergeordnete Rolle.

Summary

The present study investigated the complex relationships between weather conditions and ring formation in trees growing between extreme high and low altitude sites with conditions ranging from dry to moist. As a further step, the conventional dendroclimatological methods were critically examined and the content of dendroecological information scrutinised. On the basis of the results, recommendations are made for site types and ring parameters most suitable for different types of analysis.

The study covered four climatically differing areas: the Swiss Rhone Valley; the Swiss Jura; Troodos Mountain, Cyprus; and the Front Range, Colorado, USA. Material was collected from selected stands located along vertical transects. The chronologies were analysed with radiodensitometric methods (Figure 2).

Results:

Single-year and year-group analysis (Figures 41 to 51). The instrument used for single-year and year-group analysis was the dendroecological diagram (Figures 1 and 38). This is a graphical method of data representation in which various degrees of shading express the intensity of cambial activity at each site within a given climatic area. It permits year-for-year determination of the relationships between weather conditions, site characteristics, site elevation, and tree ring parameters (maximum latewood density, ring width, latewood width, minimum density). Site conditions (dry to moist) were found to exert a very strong influence, in certain years even stronger than that of elevation. In dry years, for instance, the cambial activity of trees on dry sites was limited by precipitation, even in the subalpine zone. In cold years, on the other hand, the growth of trees on moist sites was often limited by temperature, even at low elevations. In the transitional area between extreme high and low altitude sites, the degree of influence exerted by temperature and precipitation varied from year to year.

It was possible to group individual years according to the pattern displayed in the dendroecological diagram. The following three main types of weather pattern could be distinguished:

- cold-moist type
- warm-dry type
- cold-dry type

Depending on climatic area and ring parameter used, it was possible to assign 40 to 65% of all single years to one or other of these groups.

On average, the cold-moist type is characterised by optimum growth on dry, low altitude sites and limited growth at the upper timberline. In warm-dry years the situation is reversed, with limited growth on dry, low altitude sites and a positive growth response at the upper timberline. Sites between the two extremes exhibit a gradual transition, with ring growth mainly limited by either temperature or precipitation, depending on site moisture. In cold-dry years ring formation is limited at both extremes. On the transitional sites, on the other hand, there is optimum growth. The differences between the means of these three weather patterns are statistically significant.

Clear results were obtained for the Swiss Rhone Valley, the Swiss Jura, and the Front Range. For these areas, maximum density proved generally more suitable for analysis than ring width.

Not all of the results for the Troodos sites could be interpreted clearly. Here, ring width was more useful for analysis than maximum density.

Response functions. In order to identify those months in which the separate influences of temperature and precipitation were greatest, response functions, calculated through a multivariate statistical process, were employed (Figures 55 to 57).

Maximum density was affected by either temperature or precipitation, depending on site conditions. On the Swiss sites the summer data (temperature, precipitation) correlated best with maximum density. High temperatures in spring also had a certain positive effect on temperature-sensitive high altitude sites. Some low altitude sites were strongly influenced by fall, winter and spring precipitation. On the Front Range sites the decisive period, especially in the case of precipitation, often occurred in spring and early summer. The Troodos sites exhibited a noticeable gap in the correlation pattern during the dry summer period.

Ring width on the Swiss and Front Range sites was influenced by the total precipitation over the vegetation period and also during the winter months. The results for the Troodos sites show some indication of an interruption during the dry summer period.

Comparison and combination of single-year and year-group analysis with response functions.

The advantage of response functions is that they permit rapid extraction of dendroclimatological information from the chronologies. The information obtained, however, is limited to the mean influence of weather conditions on cambial activity. Single-year and year-

group analysis, on the other hand, allow year-for-year ecological interpretation. This method is simple in application but requires many chronologies per study area and is also time-consuming. The most comprehensive results are to be obtained by combining the two methods. To this end, the multivariate statistical process was applied to the year-groups (Figures 60 and 61). By doing so, it was possible to identify statistically influences which became apparent only every 8 to 10 years and which would have remained obscured or undetected if the usual response function calculations had been applied alone. Each of the two methods produced similar results for the analysis of weather patterns.

Evapotranspiration models and forest damage (Swiss Rhone Valley exclusively). The attempt to obtain a clearer interpretation of ring growth by means of simulated evapotranspiration models did not meet with the hoped-for success (Figures 31 to 34 and 59). The explainable variance was found to depend very greatly on site conditions. Averaged over all sites, its increase was only slight, and not statistically significant. The evapotranspiration calculations, however, did lead to an improvement in qualitative single-year analysis.

It was possible to construct a model of the decreased growth exhibited by trees on the low altitude sites of the Swiss Rhone Valley, which have probably been damaged by fluoride emissions. The model shows that neither climate, site conditions, nor aging alone is responsible for the growth reduction, although these factors may lead to damage or decreased growth in weakened individuals.

Recommendations for selection of site and ring parameter (Figure 63). The results of the study showed that, under existing climatic conditions, particular site types and ring parameters are most appropriate for different kinds of dendroclimatological analysis. The recommendations below are intended to provide a basis for the selection of sites for modern networks and to facilitate or relativise the climatological interpretation of fossil chronologies.

Parameters and site selection for temperature analysis and reconstruction:

- Maximum density is very suitable (exception: Cyprus sites). On high altitude sites, site conditions (dry or moist) play only a subordinate role; this is of great advantage, especially where fossil wood is concerned. Positive correlations may be established for moist sites, even at low elevations.
- Ring width is unsuitable, except for the highest moist timberline sites.

Parameters and site selection for precipitation analysis and reconstruction:

- Maximum density is suitable, but only for dry sites at low and medium elevations.
- Ring width is very suitable even at high altitudes. Site conditions play only a subordinate role.

Translation: M.J. Sieber

Résumé

Dans ce travail on étudia, pour chaque année, les relations complexes existant entre le temps et la croissance des cernes d'arbres de stations séchardes à humides et de basse à haute altitude. Les méthodes dendroclimatologiques usuelles furent examinées de manière critique au sujet de leur valeur informative pour la dendroécologie. L'étude mentionne les types de station et les paramètres du cerne qui fournissent des renseignements dendroclimatiques.

Quatre régions climatiques distinctes servirent à cette étude: la vallée du Rhône et le Jura (Suisse), le massif de Troghodhos (Chypre) et la chaîne du Front Range (Colorado, Etats-Unis). Les peuplements forestiers furent choisis le long d'un profil altitudinal. L'analyse des cernes se fit à l'aide de la méthode radiodensitométrique (figure 2).

Résultats:

L'analyse des cernes par année et par groupe (figures 41 à 51). L'analyse des cernes par année a été entreprise avec des diagrammes dendroécologiques (figures 1 et 38). Cette aide graphique permet de représenter avec une échelle de tons gris les valeurs annuelles des divers paramètres du cerne (densité maximale du bois d'été, largeur du cerne, largeur du bois d'été, densité minimale) pour chaque station de la région étudiée. Il a été ainsi possible d'établir pour chaque année les relations entre l'évolution du temps, les caractéristiques de station, l'altitude et les divers paramètres du cerne. Il appert que la station (sécharde à humide) a une grande influence sur l'élaboration du cerne. Certaines années, le rôle de l'altitude est même d'ordre secondaire. Ainsi, dans les années sèches, l'activité cambiale des arbres des stations séchardes est souvent freinée jusqu'à l'étage subalpin par le manque de précipitations. Les années fraîches, au contraire, limitent la croissance des arbres des stations humides souvent jusque dans les régions basses. Dans les zones de transition, entre ces stations marginales, le degré d'influence de la température, respectivement des précipitations, varie d'année en année. Grâce à ces diagrammes, on a pu distinguer des années typiques. Suivant les régions et les paramètres du cerne, le 40 à 65% des années a pu être réuni en trois groupes principaux, caractérisés par l'évolution du temps:

- le type froid et humide
- le type chaud et sec
- le type froid et sec

Le type froid et humide est marqué par une croissance optimale dans les régions séchardes de basse altitude, alors que les stations sises à la limite supérieure des forêts montrent une croissance réduite. Les conditions sont inversées dans le type chaud et sec. Les endroits à basse altitude ont en général une croissance restreinte, alors que les stations de la limite supérieure des forêts réagissent positivement. Dans les stations intermédiaires à ces deux extrêmes, les conditions sont transitoires et l'élaboration du cerne est selon l'humidité de la station limitée surtout par la température ou par les précipitations. Lors des années fraîches et sèches, l'accroissement est freiné sur les stations marginales. Les stations situées dans les régions de transition possèdent alors des conditions optimale de croissance. L'évolution du temps diffère de manière très significative dans les trois types principaux.

Des renseignements clairs furent obtenus avec cette méthode dans la vallée du Rhône, le Jura et au Front Range, E.U. La densité maximale se prête en général mieux à de telles études que la largeur des cernes. Les stations de Chypre donnèrent en partie des résultats difficilement interprétables. Dans cette région, la largeur des cernes est plus appropriée que la densité maximale.

'Response functions'. A l'aide de l'analyse multinomiale, on a déterminé les mois ou la température et les précipitations ont une action décisive sur l'accroissement (figures 55 à 57).

La densité maximale des peuplements examinés en Suisse est, selon la station, régie principalement par les températures ou les pluies des mois du trimestre d'été. Des températures printanières élevées ont un effet positif dans les hautes stations. Les peuplements de basse altitude dépendent en partie fortement des précipitations de l'automne, de l'hiver et du printemps. Dans le Front Range, E.U., la période d'influence principale se situe, de manière accrue, au printemps et au début de l'été. Dans le massif du Troghodhos, à Chypre, on constate un manque d'influence de la pluie au cours de la sécheresse de l'été. La largeur des cernes dans les peuplements de Suisse et du Front Range, E.U., dépend jusqu'à une altitude élevée des précipitations au cours de la période végétative et de l'hiver. Dans le massif du Troghodhos, l'absence d'influence des pluies au cours de l'été se remarque faiblement dans ce paramètre.

Comparaison et combinaison de l'analyse par année et par groupe avec les 'response functions'. L'avantage des 'response functions' réside dans l'obtention rapide d'informations dendroclimatiques. Le procédé ne fournit que des renseignements sur l'influence moyenne de l'évolution du temps sur le cerne. L'analyse par année et par groupe résoud, au contraire, annuellement les questions dendroécologiques. D'application facile, elle exige de nombreuses chronologies de station et demande beaucoup de temps. La combinaison des deux méthodes apporta les plus vastes informations dendroécologiques. Dans ce but, on appliqua l'analyse multinomiale à l'étude des groupes (figures 60 et 61). On put ainsi déterminer statistiquement des influences qui ne se produisent que tous les 8 à 10 ans et qui, dans l'analyse multinomiale sur de longues périodes, resteraient inconnues ou masquées. Les deux méthodes donnèrent des résultats semblables dans l'analyse du temps.

Modèles d'évapotranspiration et l'estimation des dégâts en forêt (pour les peuplements de la vallée du Rhône en Valais, Suisse). L'essai de détermination de l'accroissement, au moyen de données simulées d'évapotranspiration, n'a pas fourni les résultats escomptés (figures 31 à 34 et 59). La diminution de la variance résiduelle dépend fortement des conditions de station. On ne put observer en moyenne, sur l'ensemble des peuplements, que de minimes améliorations non significatives. L'avantage des calculs de l'évapotranspiration réside dans le perfectionnement de l'analyse qualitative par année. La diminution de l'accroissement des peuplements, probablement endommagés par le fluor, dans les régions basses de la vallée du Rhône, a pu être déterminée au moyen de modèles. Il appert que ni des facteurs climatiques, ni des facteurs de station, ou encore le vieillissement, sont responsables à eux seuls de la baisse de la croissance. Par contre, ces facteurs peuvent engendrer chez les sujets affaiblis un dommage ou une perte d'accroissement.

Recommandations concernant la station et les paramètres du cerne (figure 63). Ces recommandations constituent une base de décision pour le choix des stations lors de l'analyse des cernes d'arbres récents; en plus, elles facilitent ou relativisent les renseignements climatologiques des chronologies subfossiles. Les résultats permettent de dire que sous les conditions climatiques actuelles, les paramètres du cerne et les stations ci-dessous se prêtent bien à une analyse dendroclimatologique.

Paramètres du cerne et stations utilisés pour l'analyse et la reconstitution de la température:

- La densité maximale est particulièrement appropriée (exception: stations de Chypre). Dans les régions élevées, les conditions de station (sécharde à humide) ne jouent qu'un rôle secondaire, ce qui est d'un grand avantage pour les bois subfossiles. Des corrélations positives sont obtenues pour les stations humides, en partie jusque dans les régions basses.
- La largeur des cernes est impropre, à l'exception des stations humides, à la limite supérieure des forêts.

Paramètres du cerne et stations utilisés pour l'analyse et la reconstitution des précipitations:

- La densité maximale est appropriée, mais essentiellement dans les régions sèches de basse et moyenne altitude.
- La largeur des cernes convient très bien jusqu'à une altitude élevée. Les conditions de station n'ont qu'un rôle secondaire.

Traduction: O. Lenz

Literatur

- BARRY, R.G.**, 1973: A climatological transect on the east slope of the Front Range, Colorado. *Arctic and Alpine Research* 5,2: 89 - 110.
- BARSCH, D.**, 1969: Studien zur Geomorphogenese des zentralen Berner Juras. *Basler Beiträge zur Geographie*, Heft 9: 221 S.
- BAUCH, J.**, 1975: Dendrologie der Nadelbäume und übrigen Gymnospermen. 4. Aufl., 188 S., Berlin / New York, de Gruyter.
- BLANEY, H.F., CRIDDLE, W.D.**, 1962: Determining consumptive use and irrigation water requirements. US Dept. of Agriculture, Tech. Bull. Nr. 1275: 59 S.
- BRAEKER, O.J.**, 1981: Der Alterstrend bei Jahrringdichten und Jahrringbreiten von Nadelhölzern und sein Ausgleich. *Mitt. d. forstl. Bundes-Vers.-Anst. Wien* 142: 75 - 102.
- BRUBAKER, L.B.**, 1982: Western north America. In **HUGHES, M.K.**, et al.: *Climate from tree rings*. S. 118 - 126, Cambridge u.a., Cambridge University Press.
- BURNAND, J.**, 1976: *Quercus pubescens* - Wälder und ihre ökologischen Grenzen im Wallis (Zentralalpen). Veröff. Geobot. Inst. ETH Zürich, Stiftung Rübel, Nr. 59: 138 S.
- CALAME, F., SIEBENTHAL, J. VON**, 1977: Le bilan hydrique en agriculture. *Statistique pour Genève de 1901 à 1970. Revue suisse Agric.* 9,3: 103 - 109.
- CHANG, M., LEE, R.**, 1974: Objective double-mass analysis. *Water Resources Research* 10,6: 1123 - 1126.
- CHRISTIANSEN, J.E.**, 1968: Pan evaporation and evapotranspiration from climatic data. *Amer. Soc. Civ. Engin. Proc., J. Hydrol.* 94,2: 243 - 265.
- CIESLAR, A.**, 1907: Einige Beziehungen zwischen Holzzuwachs und Witterung. *Zentralbl. ges. Forstwes.* 33: 289 - 311.
- CLEAVELAND, M.K.**, 1983: X-ray densitometric measurement of climatic influence on the intra-annual characteristics of southwestern semiarid conifer tree rings. 177 S., Diss. Univ. of Arizona, Tucson.
- COOK, A.W., TOPIL, A.G.**, 1952: Some examples of Chinooks east of the mountains in Colorado. *Bull. Americ. Meteorol. Soc.* 33,2: 42 - 47.
- CROPPER, J.P.**, 1979: Tree-ring skeleton plotting by computer. *Tree-Ring Bulletin* 39: 47 - 59.
- CROPPER, J.P.**, 1982 a: Climate reconstructions (1801 to 1938) inferred from tree-ring width chronologies of the north American arctic. *Arctic and Alpine Research* 14,3: 223 - 241.
- CROPPER, J.P.**, 1982 b: Comment to the article of GUIOT, J., et al. In **HUGHES, M.K.**, et al.: *Climate from tree rings*. S. 47 - 50, Cambridge u.a., Cambridge University Press.
- CROPPER, J.P., FRITTS, H.C.**, 1981: Tree-ring width chronologies from the north American arctic. *Arctic and Alpine Research* 13,3: 245 - 260.
- CROPPER, J.P., FRITTS, H.C.**, 1982: Density of tree-ring grids in western north America. *Tree-Ring Bulletin* 42: 3 - 9.
- DAUBENMIRE, R.F.**, 1943: Vegetational zonation in the Rocky Mountains. *The Botanical Review* 9,6: 325 - 393.
- ECKSTEIN, D., BREYNE, A., ANIOL, R.W., LIESE, W.**, 1981: Dendroklimatologische Untersuchungen zur Entwicklung von Strassenbäumen. *Forstw. Cbl.* 100 (1981): 381 - 396.
- EFROYMSON, M.A.**, 1960: Multiple regression analysis. *Mathematical methods for digital computers*. Kap. 17, New York, Wiley.
- FERLIN, P., FLUEHLER, H., POLOMSKI, J.**, 1982: Immissionsbedingte Fluorbelastung eines Föhrenstandortes im unteren Pfynwald. *Schweiz. Z. Forstwes.* 133,2: 139 - 157.
- FLUEHLER, H.**, 1981: Waldschäden im Walliser Rhonetal (Schweiz). *Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Mitt.* 57,4: 361 - 499.
- FRANK, E.C., LEE, R.**, 1966: Potential solar beam irradiation on slopes. *Tables for 30° to 50° latitude*. US Forest Serv., Res. Paper RM-18: 116 S.
- FRITTS, H.C.**, 1960: Multiple regression analysis of radial growth in individual trees. *Forest Sci.* 6,4: 334 - 349.
- FRITTS, H.C.**, 1969: Bristlecone pine in the White Mountains of California. *Growth and ring-width characteristics*. *Papers of the Laboratory of Tree-Ring Research*, Nr. 4: 44 S., Tucson AZ, the University of Arizona Press.

- FRITTS, H.C., 1976: Tree rings and climate. 567 S., London, Academic Press.
- FRITTS, H.C., BLASING, T.J., HAYDEN, B.P., KUTZBACH, J.E., 1971: Multivariate techniques for specifying tree-growth and climate relationships and for reconstructing anomalies in paleoclimate. *J. Appl. Meteorol.* 10,5: 845 - 864.
- FRITTS, H.C., SMITH, D.G., CARDIS, J.W., BUDELSKY, C.A., 1965: Tree-ring characteristics along a vegetation gradient in northern Arizona. *Ecology* 46,4: 393 - 401.
- GIDDINGS, J.L., jr., 1942: Dated sites on the Kobuk river, Alaska. *Tree-Ring Bulletin* 9,1: 1 - 8.
- GLOCK, W.S., 1941: Growth rings and climate. *Botanical Review* 7,12: 649 - 713.
- GRASSI, C.J., 1964: Estimation of evapotranspiration from climatic formulas. 101 S., M.S. Thesis, Utah State Univ., Col. of Engin., Logan.
- GREGUSS, P., 1955: Xylotomische Bestimmung der heute lebenden Gymnospermen. 308 S., 350 Tafeln, Budapest, Akadémiai Kiadó.
- GREGUSS, P., 1972: Xylotomy of the living conifers. 501 S., Budapest, Akadémiai Kiadó.
- GUTERSOHN, H., 1958: Geographie der Schweiz, Band I. Jura. 260 S., Bern, Kümmerly und Frey.
- GUTERSOHN, H., 1961: Geographie der Schweiz, Band II, 1. Teil. Wallis, Tessin, Graubünden. 486 S., Bern, Kümmerly und Frey.
- HAGGETT, P., 1979: Geography. A modern synthesis. 3. Aufl., 627 S., New York u.a., Harper und Row.
- HALFPENNY, J.C., 1982: Ecological studies in the Colorado alpine. A Festschrift for John W. Marr. Institute of Arctic and Alpine Research, Occasional Paper, Nr. 37: 147 S., Boulder.
- HALLIDAY, G., BEADLE, M., 1983: Consolidated index to Flora Europaea. 210 S., Cambridge u.a., Cambridge University Press.
- HAMON, W.R., 1966: Evapotranspiration from temperature and day length functions. Methods for estimating evapotranspiration, irr. and drain. speciality confer., Amer. Soc. Civ. Engin., Las Vegas, USA, 2.- 4. November 1966: 235 - 236.
- HARLOW, W.M., HARRAR, E.S., 1968: Textbook of dendrology. 5. Aufl., 512 S., New York u.a., Mc Graw-Hill.
- HEYER, E., 1977: Witterung und Klima. 4. Aufl., 460 S., 16 Tafeln, Leipzig, Teubner.
- HUGHES, M.K., KELLY, P.M., PILCHER, J.R., LAMARCHE, V.C., jr., 1982: Climate from tree rings. 223 S., Cambridge u.a., Cambridge University Press.
- ITEM, H., 1974: Ein Modell für den Wasserhaushalt eines Laubwaldes. *Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Mitt.* 50,3: 137 - 331.
- ITEM, H., 1981: Ein Wasserhaushaltsmodell für Wald und Wiese. *Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Mitt.* 57,1: 5 - 82.
- IVES, J.D., DOW, V., 1982: A mountain environmental atlas: The Indian Peaks area, Colorado Front Range, USA a prospectus. *Mountain Research and Development* 2,4: 337 - 348.
- JAZEWITSCH, W. VON, 1961: Zur klimatologischen Auswertung von Jahrringkurven. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 80: 175 - 190.
- JENSEN, M.E., HAISE, H.R., 1963: Estimating evapotranspiration from solar radiation. *Amer. Soc. Civ. Engin. Proc., Jour. Irrig. and Drain.* 89,4: 15 - 41.
- KAERENLAMPI, L., 1972: On the relationships of the Scots pine annual ring width and some climatic variables at the Kevo subarctic station. *Rep. Kevo Subarctic Res. Stat.* 9: 78 - 81.
- KIENAST, F., 1982: Jahrringanalytische Untersuchungen in immissionsgefährdeten Waldschadengebieten des Walliser Rhonetales. *Geographica Helvetica* 37,3: 143 - 148.
- KIENAST, F., 1985: Tree ring analysis, forest damage and air pollution in the Swiss Rhone valley. *Land Use Policy* 2,1: 74 - 77.
- KIENAST, F., FLUEHLER, H., SCHWEINGRUBER, F.H., 1981: Jahrringanalysen an Föhren (*Pinus silvestris* L.) aus immissionsgefährdeten Waldbeständen des Mittelwallis (Saxon, Schweiz). *Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Mitt.* 57,4: 415 - 432.
- KISHIMOTO, H., 1972: Ein Beitrag zur Klassenbildung in statistischer Kartographie unter besonderer Berücksichtigung der maschinellen Herstellung von Choroplethenkarten. *Kartographische Nachrichten* 6 (1972): 224 - 239.
- KOHLER, M.A., 1949: On the use of double-mass analysis for testing the consistency of meteorological records and for making required adjustments. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 30: 188 - 189.
- KOMÁRKOVÁ, V., 1976: Alpine vegetation of the Indian Peaks area, Front Range, Colorado Rocky Mountains. 655 S., Diss. Univ. of Colorado, Boulder.

- KOMÁRKOVÁ, V., WEBBER, P.J., 1978: An alpine vegetation map of Niwot Ridge, Colorado. *Arctic and Alpine Research* 10,1: 1 - 29.
- KONTIC, R., WINKLER-SEIFERT, A., 1984: Vergleichende Untersuchungen über Kronenbild und Jahrringbild bei Föhren (*Pinus sylvestris* L.). 30 S., unpubl. Manuskript, Eidg. Anst. forstl. Versuchswes.
- KORTAN, O., 1970: Zur Bildung des Schwefelkies-Kupferkies-Vorkommens Cyperns, unter besonderer Berücksichtigung der Lagerstätte Skouriotissa. 271 S., Diss. TH Clausthal.
- LAMARCHE, V.C., jr., 1974 a: Paleoclimatic inferences from long tree-ring records. *Science* 183: 1043 - 1048.
- LAMARCHE, V.C., jr., 1974 b: Frequency-dependent relationships between tree-ring series along an ecological gradient and some dendroclimatic implications. *Tree-Ring Bulletin* 34: 1 - 20.
- LAMARCHE, V.C., jr., 1978: Tree-ring evidence of past climatic variability. *Nature* 276,: 334 - 338.
- LAMARCHE, V.C., jr., STOCKTON, C.W., 1974: Chronologies from temperature-sensitive Bristlecone pines at upper treeline in western United States. *Tree-Ring Bulletin* 34: 21 - 45.
- LENZ, O., 1957: Utilisation de la radiographie pour l'examen des couches d'accroissement. *Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Mitt.* 33: 125 - 134.
- LENZ, O., SCHAER, E., SCHWEINGRUBER, F.H., 1976: Methodische Probleme bei der radiographisch-densitometrischen Bestimmung der Dichte und der Jahrringbreiten von Holz. *Holzforschung* 30: 114 - 123.
- LIBBY, L.M., PANDOLFI, L.J., PAYTON, P.H., MARSHALL, J., BECKER, B., GIERTZ-SIEBENLIST, W., 1976: Isotopic tree thermometers. *Nature*, London 261: 284 - 288.
- LOEVE, D., 1970: Subarctic and subalpine: Where and what? *Arctic and Alpine Research* 2,1: 63 - 73.
- LORIS, K., 1981: Dickenwachstum von Zirbe; Fichte und Lärche an der alpinen Waldgrenze/ Patscherkofel. Ergebnisse der Dendrometremessungen 1976 / 79. *Mitt. d. forstl. Bundes-Vers.-Anst. Wien* 142,2: 417 - 441.
- MAY, D.E., WEBBER, P.J., 1982: Spatial and temporal variation of the vegetation and its productivity, Niwot Ridge, Colorado. In HALFPENNY, J.C.: Ecological studies in the Colorado alpine. A Festschrift for John W. Marr. S. 35 - 62, Institute of Arctic and Alpine Research, Occasional Paper, Nr. 37, Boulder.
- MCGINNIGLE, J.B., 1971: The climate at the summit of Mount Olympus Cyprus. 54 S., unpubl. Manuskript, London Weather Centre, Meteorological Office.
- MCGINNIGLE, J.B., 1972: 10 years of weather observations from Mount Olympus, Cyprus. *Meteorological Magazine* 101: 39 - 43.
- MCGUINNESS, J.L., BORDNE, F., 1972: A comparison of Lysimeter-derived potential evapotranspiration with computed values. US Dept. of Agriculture, Techn. Bull. Nr. 1452: 71 S.
- MEIKLE, R.D., 1977: Flora of Cyprus. 832 S., Kew, Bentham-Moxon Trust Royal Botanic Gardens.
- MEUSEL, H., 1965: Vergleichende Chorologie der zentraleuropäischen Flora, Band I. 583 S., 258 S. Karten, Jena, Fischer Verlag.
- MEUSEL, H., 1978: Vergleichende Chorologie der zentraleuropäischen Flora, Band II. 418 S., 163 S. Karten, Jena, Fischer Verlag.
- MOOR, M., 1952: Die Fagion - Gesellschaften im Schweizer Jura. Beiträge zur geobotanischen Landesaufnahme der Schweiz, Heft 31: 201 S, Bern, Huber.
- MUELLER-STOLL, H., 1951: Vergleichende Untersuchungen über die Abhängigkeit der Jahrringfolge von Holzart, Standort und Klima. 82 S., Stuttgart, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.
- MUNAUT, A.V., 1982: The Mediterranean area. In HUGHES, M.K., et al.: Climate from tree rings. S. 151 - 153, Cambridge u.a., Cambridge University Press.
- NEOPHYTOU, G., 1977: Analyse der Entwicklung und Entwicklungsmöglichkeiten der Region Limassol. Ein Beitrag zur Regionalplanung der Republik Zypern. 549 S., Diss. TU Berlin.
- NEUMANN, M., SCHIELER, K., 1981: Vergleich spezieller Methoden zuwachskundlicher Schadensabschätzung. *Mitt. d. forstl. Bundes-Vers.-Anst. Wien* 139: 49 - 65.
- NIEDERER, M., NIPPEL, C.A., 1984: Jahrring-analytische Studien über Fichten (*Picea abies* (L.) Karst.) von ausgesuchten Standorten im Rhonetal zwischen Grimsel und Genfersee. 132 S. Text und Beilagen, unveröff. Diplomarbeit Bot. Inst. Univ. Basel.
- NORTON, D.A., 1983: A dendroclimatic analysis of three indigenous tree species, south island New Zealand. 439 S., Diss. Univ. of Canterbury.
- PALMER, W.C., HAVENS, A.V., 1958: A graphical technique for determining evapotranspiration by the Thornthwaite method. *Monthly Weather Rev.* 86,4: 123 - 128.

- PANTAZIS, T.M.**, 1971: An outline of the geology and geomorphology of Cyprus. Bull. of the Cyprus Geographical Association 1: 5 - 20.
- PARKER, M.L., HENOCH, W.E.S.**, 1971: The use of Engelmann spruce latewood density for dendrochronological purposes. Can. Journal of Forest Research 1: 90 - 98.
- POLGE, H.**, 1966: Etablissement des courbes de variation de la densité du bois par l'exploration densitométrique de radiographies d'échantillons prélevés à la tarière sur des arbres vivants. Ann. sci. forest. 23: 1 - 206.
- POLLANSCHUETZ, J.**, 1971: Die ertragskundlichen Messmethoden zur Erkennung und Beurteilung von forstlichen Rauchs Schäden. Mitt. d. forstl. Bundes-Vers.-Anst. Wien 92: 153 - 206.
- PONS, A.**, 1964: Contribution palynologique à l'étude de la flore et de la végétation pliocènes de la région rhodanienne. Ann. Sci. Nat., Bot., Paris 12,5: 499 - 722.
- PRESTON, R.J.**, 1968: Rocky Mountain trees. A handbook of the native species. 3. Aufl., 285 S., New York, Dover Publications.
- PRIMAULT, B.**, 1962: Du calcul de l'évapotranspiration. Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Serie B, 12,1: 124 - 150.
- RIKLI, M.**, 1943: Das Pflanzenkleid der Mittelmeerländer, Band I. 436 S., Bern, Hans Huber.
- RIKLI, M.**, 1946: Das Pflanzenkleid der Mittelmeerländer, Band II. 1093 S., Bern, Hans Huber.
- REICHLE, D.E., WEST, D.C., SHUGART, H.H., BOTKIN, D.B.**, 1981: Forest succession. 517 S., Heidelberg u.a., Springer.
- SACHS, L.**, 1978: Angewandte Statistik. Statistische Methoden und ihre Anwendungen. 5. Aufl., 552 S., Heidelberg u.a., Springer.
- SERRE, F.**, 1978: The dendroclimatological value of the European larch (*Larix decidua* Mill.) in the French Maritime alps. Tree-Ring Bulletin 38: 25 - 34.
- SHUGART, H.H., MC LAUGHLIN, S.B., WEST, D.C.**, 1980: Forest models: Their development and potential applications for air pollution effects research. Proc. symposium on effects of air pollutants on Mediterranean and Temperate forest ecosystems, Riverside, USA, 22. - 27. Juni 1980. US Dept. of Agriculture, Techn. Rep. PSW-43: 203 - 214.
- SHUGART, H.H., WEST, D.C., EMANUEL, W.R.**, 1981: Patterns and dynamics of forests: an application of simulation models. In REICHLE, D.E., et al.: Forest succession. S. 74 - 94, Heidelberg u.a., Springer.
- SIRÉN, G.**, 1961: Skogsgränställen som indikator för klimatfluktuationerna i norra Fennoskandien under historisk tid. Engl. summary. Commun. Inst. Forest. Fenn. 54: 1 - 66.
- STEPHENS, J.C., STEWART, E.H.**, 1963: A comparison of procedures for computing evaporation and evapotranspiration. Internat'l. Assoc. Sci. Hydrol., International Union of Geodesy and Geophysics, Berkeley, Calif., Publ. 62: 123 - 133.
- STOKES, M.A., SMILEY, T.L.**, 1968: An introduction to tree-ring dating. 73 S., Chicago/ London, The University of Chicago Press.
- SCHMIDT, G.**, 1969: Vegetationsgeographie auf ökologisch-soziologischer Grundlage. 596 S., Leipzig, Teubner.
- SCHMIDT-VOGT, H.**, 1977: Die Fichte, Band I. 647 S., Hamburg / Berlin, Parey.
- SCHULMANN, E.**, 1956: Dendroclimatic change in semiarid America. The University of Arizona Press.
- SCHWEINGRUBER, F.H.**, 1982: Mikroskopische Holzanatomie. 2. Aufl., 226 S., Teufen, Flück-Wirth.
- SCHWEINGRUBER, F.H.**, 1983: Der Jahrring. Standort, Methodik, Zeit und Klima in der Dendrochronologie. 234 S., Bern, Haupt.
- SCHWEINGRUBER, F.H., BRAEKER, O.U., SCHAEER, E.**, 1979: Dendroclimatic studies on conifers from central Europe and Great Britain. Boreas 8: 427 - 452.
- SCHWEINGRUBER, F.H., KONTIC, R., WINKLER-SEIFERT, A.**, 1983: Eine jahrringanalytische Studie zum Nadelbaumsterben in der Schweiz. Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Ber. 253: 29 S.
- TAKAHASHI, K., ARAKAWA, H.**, 1981: World survey of climatology, Vol. 9. Climates of southern and western Asia. 333 S., Amsterdam u.a., Elsevier.
- TAMARI, A.**, 1976: Climatic fluctuations in the eastern basin of the Mediterranean based on dendrochronological analysis. Diss. Tel-Aviv University.
- TANNER, C.B., PELTON, W.L.**, 1960: Potential evapotranspiration estimates by the approximate energy balance method of Penman. Jour. Geophys. Res. 65,10: 3391 - 3413.

TANSLEY, A.G., 1973: Introduction to plant ecology. 4. Aufl., 237 S., London, Allen und Unwin.

THOMPSON, W.F., 1969: Physical geography and military environment in a transect of the Utah and Colorado Rockies. Earth Sciences Laboratory US Army Natick Laboratories, Technical Report 69-73-ES (Mikrofiche), Natick, Massachusetts.

TRUEMPY, R., 1980: Geology of Switzerland, a guide-book, part A. An outline of the geology of Switzerland. 104 S., Basel / New York, Wepf.

TURC, L., 1961: Evaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle. Ann. Agron. 12,1: 13 - 49.

WAGENFUEHR, R., 1980: Anatomie des Holzes. 2. Aufl., 328 S., Leipzig, VEB Fachbuchverlag.

WALTER, H., 1970: Arealkunde. Floristisch-historische Geobotanik, Band III, 2. Teil. 2. Aufl., 478 S., Stuttgart, Ulmer.

WALTER, H., LIETH, H., 1960, 1964, 1967: Klimadiagramm Weltatlas. Jena, Gustav Fischer.

Karten:

Bundesamt für Landestopographie, Wabern:

1: 25 000 Landeskarte, Blatt 1325 Sembracher, 1977
Landeskarte, Blatt 1305 Dt. de Morcles, 1980

1:200 000 Landeskarte, Blatt 1, 1977
Landeskarte, Blatt 3, 1981

Department of Lands and Surveys Cyprus, Nicosia:

1: 50 000 Topographical map of Cyprus, 4 Blätter, 2. Aufl, 1977

FISCHER, H., 1967: Karte der geologischen Struktur der Umgebung von Basel 1:500 000. In: Strukturatlas Nordwestschweiz/Oberelsass/Südschwarzwald, Basel 1966/67.

SCHMID, E., 1950: Vegetationskarte der Schweiz im Massstab 1:200 000, Blatt Nr. 3. Hg.: Pflanzengeographische Kommission der Schweiz. Naturforschenden Gesellschaft.

US Geological Survey, Washington D.C.:

1: 50 000 Topographic map, Boulder County, Colorado, 1980

1: 24 000 Geologic map of the Nederland quadrangle, Boulder and Gilpin Counties, Colorado, 1969

Basis- und Chronologiestatistik aller Jahrringsequenzen. In den Tabellen 12 bis 15 werden alle statistischen Kenngrössen getrennt für sämtliche berechneten Jahrringparameter dargestellt. Die Kenngrössen beziehen sich auf folgende Jahrringsequenzen:

- Mittel¹: Rohwertmittelkurven
- Streuung: Indexierte Mittelkurven
- Sensitivität: Rohwertmittelkurven
- Autokorrelation: Indexierte Mittelkurven
- Kreuzkorrelation: Indexierte Einzelkurven
- Gleichläufigkeit: Indexierte Einzelkurven

Einzeljahres- und Gruppenanalysen. In der Tabelle 16 werden alle Jahre aufgeführt, die in den Abbildungen 41 bis 48 den drei Haupttypen A, B und C zugeordnet werden können.

Klimatisch erklärbare Varianzanteile der berechneten Jahrringmodelle. In der Tabelle 17 werden für den Untersuchungsraum des Walliser

Rhonetales die erklärbaren Varianzanteile verschiedener Jahrringmodelle angegeben, bei denen entweder die Temperaturen und die Niederschläge oder die potentielle und die aktuelle Evapotranspiration als unabhängige Variable einfließen. Die Varianzanteile beziehen sich auf den letzten noch signifikanten Schritt bei den 'response functions' (Signifikanzniveau: 95%).

Bewertungsschlüssel für verschiedene Abbildungen. Aus Platzgründen können die Bewertungsschlüssel verschiedener Abbildungen nicht im Abbildungstext wiedergegeben werden. In den Tabellen 18 bis 20 werden sie dargestellt.

Signaturenerklärungen zu den Klimadiagrammen. In der Abbildung 64 und dem zugehörigen Text wird das Klimadiagramm nach WALTER und LIETH (1960, 1964, 1967) erklärt.

¹ Einheiten: - g/cm³ für minimale und maximale Dichte.
- mm für Breitenparameter.
- % für Spätholzprozent.

Jahr- ring- para- meter	Statisti- sche Kern- grössen	Standortsbezeichnung				
		Les Arbepins (ABP)	Eponde (EP)	Boutieu (BO)	Crête (CR)	Creux du Dailley trocken (DAI)
Minimale Dichte Frühholz- breite Maximale Dichte Spätholz- breite Jahrring- breite Spätholz- prozent	Absolute Periode	1840 - 1979	1826 - 1979	1843 - 1979	1833 - 1979	1746 - 1979
	Referenz- periode	1901 - 1970	1901 - 1970	1901 - 1970	1901 - 1970	1901 -1970
	Ausgewer- tete Kerne	23	38	32	24	29
	Mittel	0,34	0,31	0,32	0,29	0,34
	Streuung	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	Sens.	0,08	0,08	0,06	0,07	0,08
	Autokorr.	-0,33	-0,29	-0,25	-0,03	-0,21
	Kreuzkorr.	0,48	0,51	0,32	0,46	0,54
	Gleichl.	72	73	66	68	72
	Mittel	0,56	0,59	1,25	0,96	0,53
	Streuung	0,27	0,29	0,18	0,30	0,28
	Sens.	0,21	0,22	0,16	0,28	0,23
	Autokorr.	0,57	0,56	0,41	0,26	0,35
	Kreuzkorr.	0,39	0,41	0,27	0,36	0,44
	Gleichl.	63	68	62	73	68
	Mittel	0,89	0,84	1,00	0,93	0,86
	Streuung	0,07	0,07	0,04	0,04	0,05
	Sens.	0,07	0,07	0,04	0,04	0,05
	Autokorr.	0,25	0,36	0,08	0,11	0,29
	Kreuzkorr.	0,39	0,38	0,22	0,30	0,35
	Gleichl.	62	63	60	61	61
	Mittel	0,19	0,21	0,51	0,32	0,16
	Streuung	0,43	0,39	0,23	0,26	0,41
	Sens.	0,38	0,31	0,14	0,21	0,35
	Autokorr.	0,50	0,47	0,52	0,47	0,33
	Kreuzkorr.	0,41	0,38	0,20	0,32	0,43
	Gleichl.	67	69	58	63	68
	Mittel	0,74	0,81	1,76	1,28	0,70
	Streuung	0,29	0,30	0,18	0,27	0,29
	Sens.	0,21	0,22	0,13	0,23	0,23
	Autokorr.	0,63	0,58	0,58	0,38	0,40
	Kreuzkorr.	0,41	0,41	0,25	0,36	0,47
	Gleichl.	65	70	63	72	70
	Mittel	25,1	25,3	29,7	27,0	23,6
	Streuung	0,05	0,04	0,03	0,05	0,04
	Sens.	0,23	0,18	0,13	0,20	0,18
	Autokorr.	-0,04	-0,01	-0,17	-0,21	-0,09
	Kreuzkorr.	0,29	0,41	0,24	0,37	0,27
	Gleichl.	62	70	59	67	62

Tabelle 12: Basis- und Chronologiestatistik der Jahrringsequenzen aus dem Walliser Rhonetal, Schweiz.

Standortsbezeichnung					
Creux du Dailley mittel (CREU)	Prés des Champs (PRE)	Torrent des Croix (TOR)	Bisse de Saxon (BIS)	Châble d. trois besses (CTB)	Pierre Avoi (PAV)
1837 - 1979	1880 - 1979	1833 - 1979	1856 - 1979	1813 - 1979	1772 - 1979
1901 - 1970	1901 - 1970	1901 - 1970	1901 - 1970	1901 - 1970	1901 - 1970
28	26	26	30	28	20
0,30	0,25	0,35	0,26	0,30	0,26
0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
0,08	0,07	0,05	0,06	0,05	0,04
-0,10	0,12	-0,06	0,21	0,20	0,14
0,50	0,41	0,42	0,42	0,25	0,31
70	66	68	65	61	60
0,79	2,20	0,47	1,08	1,06	1,03
0,31	0,22	0,20	0,16	0,20	0,17
0,26	0,19	0,16	0,13	0,13	0,14
0,35	0,35	0,49	0,44	0,49	0,42
0,41	0,33	0,37	0,38	0,21	0,49
75	71	67	68	63	70
0,94	0,86	0,90	0,86	0,90	0,71
0,03	0,05	0,05	0,04	0,04	0,08
0,03	0,06	0,05	0,06	0,05	0,12
0,32	0,02	0,20	-0,03	0,10	-0,05
0,26	0,38	0,45	0,46	0,39	0,75
58	67	66	68	65	78
0,24	0,50	0,15	0,23	0,26	0,18
0,31	0,23	0,25	0,19	0,18	0,27
0,24	0,18	0,22	0,15	0,15	0,27
0,44	0,32	0,22	0,44	0,36	0,11
0,36	0,23	0,29	0,27	0,11	0,39
65	59	65	60	58	70
1,04	2,71	0,62	1,31	1,33	1,21
0,29	0,19	0,19	0,16	0,18	0,16
0,13	0,15	0,14	0,11	0,12	0,14
0,44	0,45	0,53	0,52	0,51	0,40
0,41	0,32	0,35	0,37	0,19	0,47
75	68	66	66	64	72
23,7	19,9	25,1	18,0	21,4	15,6
0,04	0,04	0,03	0,02	0,03	0,03
0,20	0,23	0,16	0,15	0,14	0,23
-0,17	0,02	-0,32	-0,06	0,15	0,10
0,37	0,28	0,30	0,26	0,18	0,45
66	64	63	62	59	69

Tabelle 12 (Fortsetzung)

Jahr- ring- para- meter	Statisti- sche Kenn- größen	Standortsbezeichnung				
		Jolimont (JOLT)	Berlincourt (BERF)	Balmberg trocken (BALT)	Balmberg feucht (BALF)	Chasseral (CHAS)
Minimale Dichte	Absolute Periode	1688 - 1982	1886 - 1982	1802 - 1982	1876 - 1982	1839 - 1975
	Referenz- periode	1901 - 1970	1901 - 1970	1901 - 1970	1901 - 1970	1901 - 1970
	Ausgewer- tete Kerne	19	26	23	23	29
	Mittel	0,35	0,25	0,38	0,27	0,28
	Streuung	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02
	Sens.	0,06	0,05	0,04	0,04	0,06
	Autokorr.	-0,07	0,02	-0,05	0,37	-0,02
	Kreuzkorr.	0,37	0,35	0,23	0,33	0,36
	Gleichl.	64	60	63	59	61
	Frühholz- breite	Mittel	0,32	1,54	0,34	1,51
Streuung		0,25	0,18	0,24	0,21	0,16
Sens.		0,23	0,13	0,17	0,12	0,15
Autokorr.		0,36	0,48	0,58	0,70	0,38
Kreuzkorr.		0,35	0,22	0,26	0,44	0,24
Gleichl.		63	61	60	65	62
Maximale Dichte	Mittel	0,76	0,89	0,71	0,86	0,78
	Streuung	0,08	0,04	0,04	0,05	0,06
	Sens.	0,11	0,05	0,05	0,07	0,09
	Autokorr.	0,00	0,31	0,54	-0,12	-0,04
	Kreuzkorr.	0,57	0,62	0,29	0,56	0,40
	Gleichl.	69	74	60	73	66
Spätholz- breite	Mittel	0,16	0,76	0,12	0,47	0,25
	Streuung	0,35	0,22	0,29	0,20	0,20
	Sens.	0,38	0,21	0,23	0,18	0,23
	Autokorr.	0,35	0,23	0,45	0,45	0,25
	Kreuzkorr.	0,43	0,25	0,29	0,34	0,19
	Gleichl.	67	64	61	64	61
Jahrring- breite	Mittel	0,49	2,31	0,46	1,98	1,16
	Streuung	0,25	0,17	0,23	0,19	0,15
	Sens.	0,21	0,13	0,14	0,11	0,14
	Autokorr.	0,51	0,53	0,68	0,72	0,41
	Kreuzkorr.	0,39	0,23	0,31	0,45	0,24
	Gleichl.	63	66	60	64	62
Spätholz- prozent	Mittel	34,5	33,9	29,2	24,6	21,5
	Streuung	0,08	0,04	0,05	0,03	0,03
	Sens.	0,26	0,15	0,18	0,14	0,17
	Autokorr.	-0,09	-0,35	-0,06	0,05	0,13
	Kreuzkorr.	0,41	0,25	0,20	0,27	0,24
	Gleichl.	67	63	60	63	60

Tabelle 13: Basis- und Chronologiestatistik der Jahrringsequenzen aus dem Jura, Schweiz.

Jahr- ring- para- meter	Statisti- sche Kern- größen	Standortsbezeichnung					
		Wheelman (WHEE)	Boulder Creek (BOUL)	Eldora (ELDO)	Nederland (NEDE)	Niwot Ridge (NIWO)	Arapahoe (ARAP)
	Absolute Periode	1813 - 1982	1867 - 1982	1716 - 1982	1880 - 1982	1695 - 1982	1610 - 1982
	Referenz- periode	1901 - 1970	1901 - 1970	1901 - 1970	1901 - 1970	1901 - 1970	1901 - 1970
Minimale Dichte	Ausgewer- tete Kerne	19	25	21	22	23	21
	Mittel	0,35	0,35	0,40	0,29	0,30	0,28
	Streuung	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
	Sens.	0,07	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03
	Autokorr.	-0,20	-0,04	-0,11	0,13	0,19	0,20
	Kreuzkorr.	0,46	0,32	0,45	0,26	0,22	0,19
	Gleichl.	69	61	67	56	58	54
Frühholz- breite	Mittel	0,61	0,96	0,37	2,05	0,44	0,91
	Streuung	0,27	0,25	0,20	0,16	0,16	0,14
	Sens.	0,31	0,25	0,21	0,12	0,12	0,10
	Autokorr.	0,06	0,19	0,19	0,61	0,48	0,51
	Kreuzkorr.	0,48	0,46	0,32	0,33	0,29	0,23
	Gleichl.	71	69	63	62	61	58
Maximale Dichte	Mittel	0,73	0,90	0,74	0,80	0,65	0,68
	Streuung	0,07	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
	Sens.	0,10	0,04	0,04	0,05	0,04	0,05
	Autokorr.	0,15	0,19	0,19	-0,18	0,14	-0,08
	Kreuzkorr.	0,47	0,36	0,18	0,36	0,25	0,30
	Gleichl.	69	59	59	68	63	65
Spätholz- breite	Mittel	0,14	0,46	0,10	0,41	0,10	0,18
	Streuung	0,33	0,32	0,14	0,22	0,15	0,15
	Sens.	0,35	0,33	0,17	0,23	0,16	0,17
	Autokorr.	0,08	0,20	0,08	0,10	0,24	0,23
	Kreuzkorr.	0,38	0,42	0,20	0,27	0,20	0,16
	Gleichl.	66	68	58	63	59	57
Jahrring- breite	Mittel	0,75	1,42	0,46	2,46	0,54	1,10
	Streuung	0,26	0,24	0,17	0,15	0,14	0,13
	Sens.	0,29	0,21	0,17	0,11	0,10	0,09
	Autokorr.	0,09	0,31	0,20	0,57	0,50	0,56
	Kreuzkorr.	0,47	0,46	0,30	0,33	0,29	0,23
	Gleichl.	71	68	63	63	61	59
Spätholz- prozent	Mittel	19,4	31,5	22,2	17,4	20,3	18,3
	Streuung	0,05	0,06	0,04	0,03	0,03	0,02
	Sens.	0,29	0,24	0,18	0,18	0,14	0,14
	Autokorr.	-0,07	-0,16	0,02	0,21	0,19	-0,05
	Kreuzkorr.	0,39	0,38	0,38	0,36	0,21	0,16
	Gleichl.	66	68	62	62	59	58

Tabelle 14: Basis- und Chronologiestatistik der Jahrringsequenzen aus der Front Range, Colorado, USA.

Jahr- ring- para- meter	Statisti- sche Kern- größen	Standortsbezeichnung				
		Yialia trocken (YAMT)	Yialia feucht (YAMS)	Stavros (STAT)	Ceadar Valley trocken (CEDT)	Ceadar Valley Nord (CEDN)
	Absolute Periode	1857 - 1981	1926 - 1981	1902 - 1981	1675 - 1981	1889 - 1981
	Referenz- periode	1901 - 1970	1926 - 1970	1902 - 1970	1901 - 1970	1901 - 1970
Minimale Dichte	Ausgewer- tete Kerne	24	20	24	21	20
	Mittel	0,49	0,47	0,45	0,43	0,36
	Streuung	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01
	Sens.	0,04	0,03	0,03	0,05	0,03
	Autokorr.	0,27	0,28	0,19	-0,13	0,15
	Kreuzkorr.	0,26	0,14	0,21	0,42	0,15
	Gleichl.	61	56	57	70	57
Frühholz- breite	Mittel	0,51	1,56	1,16	0,32	1,32
	Streuung	0,28	0,13	0,30	0,26	0,18
	Sens.	0,20	0,11	0,18	0,26	0,17
	Autokorr.	0,64	0,47	0,70	0,27	0,21
	Kreuzkorr.	0,43	0,11	0,50	0,42	0,33
	Gleichl.	64	55	62	70	69
Maximale Dichte	Mittel	0,99	0,93	0,99	0,88	0,98
	Streuung	0,05	0,01	0,03	0,03	0,01
	Sens.	0,04	0,02	0,02	0,03	0,01
	Autokorr.	0,58	0,21	0,20	0,32	0,15
	Kreuzkorr.	0,33	0,06	0,19	0,20	0,02
	Gleichl.	59	51	57	60	51
Spätholz- breite	Mittel	0,29	1,39	0,63	0,18	0,66
	Streuung	0,38	0,19	0,33	0,20	0,18
	Sens.	0,31	0,15	0,20	0,15	0,17
	Autokorr.	0,45	0,41	0,63	0,44	0,39
	Kreuzkorr.	0,41	0,24	0,56	0,25	0,22
	Gleichl.	64	59	61	60	58
Jahrring- breite	Mittel	0,80	2,95	1,79	0,50	1,98
	Streuung	0,30	0,14	0,29	0,22	0,15
	Sens.	0,23	0,10	0,17	0,19	0,13
	Autokorr.	0,58	0,55	0,72	0,38	0,37
	Kreuzkorr.	0,48	0,18	0,58	0,41	0,30
	Gleichl.	67	58	65	68	67
Spätholz- prozent	Mittel	34,8	47,0	36,4	36,0	33,8
	Streuung	0,04	0,04	0,05	0,05	0,04
	Sens.	0,11	0,10	0,12	0,15	0,13
	Autokorr.	0,26	0,11	0,30	-0,14	0,00
	Kreuzkorr.	0,17	0,18	0,23	0,27	0,27
	Gleichl.	57	58	56	62	58

Tabelle 15: Basis- und Chronologiestatistik der Probeflächen aus dem Troodosgebirge, Zypern.

Standortsbezeichnung					
Cedar Valley Schlucht (CEDS)	Cedar Valley hoch (CEDH)	Plano Platres feucht (PLAN)	Plano Platres trocken (PLAT)	Troodos mittel (TROT)	Troodos feucht (TROF)
1869 - 1981	1806 - 1981	1742 - 1981	1703 - 1981	1616 - 1981	1608 - 1981
1901 - 1970	1901 - 1970	1901 - 1970	1901 - 1970	1901 - 1970	1901 - 1970
25	21	23	20	21	24
0,38	0,43	0,35	0,46	0,36	0,36
0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
0,02	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03
0,20	-0,12	0,32	0,32	0,23	-0,06
0,08	0,27	0,10	0,29	0,20	0,14
52	62	54	62	57	59
1,15	0,55	0,86	0,51	0,46	0,52
0,21	0,17	0,15	0,30	0,16	0,21
0,17	0,15	0,13	0,27	0,11	0,13
0,46	0,36	0,51	0,42	0,65	0,67
0,16	0,30	0,27	0,44	0,27	0,39
59	63	60	70	56	61
0,97	0,98	0,90	0,86	0,87	0,83
0,01	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03
0,02	0,02	0,03	0,05	0,04	0,03
0,33	0,44	0,12	0,21	0,30	0,43
0,13	0,07	0,10	0,32	0,21	0,18
53	52	55	60	58	57
0,92	0,33	0,36	0,18	0,17	0,19
0,20	0,19	0,24	0,33	0,22	0,25
0,20	0,15	0,19	0,30	0,20	0,16
0,34	0,54	0,36	0,19	0,39	0,67
0,13	0,20	0,25	0,43	0,29	0,35
59	55	59	64	60	58
2,07	0,88	1,21	0,69	0,62	0,71
0,18	0,16	0,16	0,28	0,17	0,22
0,14	0,13	0,14	0,23	0,11	0,13
0,52	0,49	0,50	0,49	0,62	0,69
0,14	0,29	0,28	0,44	0,29	0,41
59	64	61	69	58	61
44,1	36,6	27,4	28,6	27,3	26,5
0,05	0,04	0,03	0,06	0,03	0,02
0,12	0,10	0,11	0,22	0,12	0,10
0,19	0,15	0,16	-0,04	-0,02	0,22
0,18	0,17	0,16	0,40	0,17	0,15
57	55	57	67	58	56

Tabelle 15 (Fortsetzung)

Untersuchungs- raum	Jahrring- parameter	Abbildung	Hauptbeeinflus- sungsmuster	Jahre
Walliser Rhonetal, Schweiz	Maximale Dichte	41	Typus A	1910 1912 1914 1916 1924 1931 1938 1939 1940 1941 1954 1955 1956 1957 1960 1963 1965 1966 1969
			Typus B	1911 1919 1921 1928 1933 1944 1947 1949 1952 1962 1964 1971 1976 1973
			Typus C	1903 1909 1920 1923 1925 1967 1968 1972 1974 1978
Jura, Schweiz	Maximale Dichte	42	Typus A	1905 1910 1912 1922 1924 1925 1927 1930 1931 1939 1941 1957 1965 1967 1968 1972
			Typus B	1904 1907 1919 1921 1923 1928 1934 1935 1943 1944 1945 1946 1947 1964 1973
			Typus C	1902 1906 1954 1962 1974
Front Range, USA	Maximale Dichte	43	Typus A	1904 1907 1908 1909 1912 1915 1921 1923 1927 1930 1941 1945 1949 1951 1961 1965 1967 1969 1971 1972 1976 1979
			Typus B	1902 1919 1922 1931 1932 1934 1936 1937 1939 1940 1942 1952 1954 1955 1958 1964 1966 1977 1978
			Typus C	1920 1935 1938 1944 1946 1957 1974 1980 1981
Troodosgebir- ge, Zypern	Maximale Dichte	44	Typus A	1906 1907 1908 1909 1910 1911 1913 1936 1938 1943 1944 1945 1948 1949 1952 1953 1956 1965 1967 1968 1981
			Typus B	1902 1916 1917 1918 1925 1926 1927 1928 1932 1933 1934 1941 1958 1959 1960 1961 1973 1978 1979
			Typus C	1905 1920 1921 1946 1957 1964 1971 1974
Front Range, USA	Jahrring- breite	45	Typus A	1900 1914 1915 1926 1937 1941 1942 1945 1947 1948 1949 1967 1969 1970 1971 1972 1973 1974 1975 1976
			Typus B	1902 1910 1911 1917 1919 1922 1925 1939 1940 1946 1953 1954 1955 1956 1957 1958 1959 1963 1964 1966
			Typus C	1906 1931 1932 1935 1936 1938 1965 1968 1977 1978 1981 1982
Troodosgebir- ge, Zypern	Jahrring breite	46	Typus A	1907 1909 1910 1912 1931 1936 1937 1938 1942 1943 1944 1945 1948 1949 1953 1963 1965 1966 1967 1968
			Typus B	1900 1901 1903 1905 1906 1917 1920 1921 1922 1924 1925 1926 1927 1928 1934 1972 1973 1975 1976 1977 1979
			Typus C	1916 1918 1919 1930 1932 1933 1941 1957 1958 1961 1964 1974
Front Range, USA	Spätholz- breite	47	Typus A	1904 1907 1908 1909 1915 1923 1927 1930 1941 1945 1967 1969 1970 1971 1972 1976 1979 1982
			Typus B	1900 1901 1902 1910 1911 1925 1931 1938 1939 1940 1942 1944 1946 1952 1954 1958 1959 1964 1966 1977
			Typus C	1906 1920 1922 1932 1933 1936 1968 1973 1974 1975 1978
Walliser Rhonetal, Schweiz	Minimale Dichte	48	Typus A	1903 1907 1914 1918 1921 1925 1928 1933 1957 1961 1972 1973 1974 1976 1968
			Typus B	1908 1910 1911 1912 1913 1916 1917 1919 1922 1926 1929 1935 1937 1946 1951 1958 1962 1963 1978 1979

Tabelle 16: Jahre, die den drei Hauptbeeinflussungsmustern A, B und C zugeordnet werden.

Probefläche	Jahrringmodell bzw. abhängige Variable und Jahrringparameter											
	Temp./Niederschl.			Pot. ET/ Akt. ET PENMAN			Pot. ET/ Akt. ET CHRISTIANSEN			Pot. ET/ Akt. ET THORNTHWAITE		
	Max	JB	Min	Max	JB	Min	Max	JB	Min	Max	JB	Min
Pierre Avoi (PAV)	62	34	33	42	40	–	46	40	27	61	46	22
Châble d. trois besses (CIB)	70	49	36	46	35	43	48	37	47	52	55	44
Bisse de Saxon (BIS)	75	46	12	63	49	42	49	49	31	60	49	24
Torrent des Croix (TOR)	35	53	34	49	49	36	17	69	36	38	44	47
Prés des Champs (PRE)	49	19	50	28	41	43	40	41	41	45	32	50
Creux du Dailley mittel (CREU)	34	60	37	41	59	44	33	47	50	31	54	46
Creux du Dailley trocken (DAI)	56	57	46	74	74	56	51	70	45	60	72	66
Boutieu (BO)	27	64	38	28	70	46	34	74	43	29	65	38
Crête (CR)	5	56	37	38	58	50	29	54	37	18	52	55
Eponde (EP)	57	71	51	67	65	59	61	70	54	64	70	62
Les Arbepins (ABP)	58	62	47	64	67	46	50	70	49	56	76	58

Tabelle 17: Erklärbare Varianzanteile (%) verschiedener Jahrringmodelle aus dem Walliser Rhonetal. Die Zahl bezieht sich auf den letzten noch signifikanten Schritt (Signifikanzniveau: 95%). Bedeutung der Abkürzungen: Temp. = Temperatur; Niederschl. = Niederschläge; Pot. ET = Potentielle Evapotranspiration; Akt. ET = Aktuelle Evapotranspiration.

Statistische Kenngrößen	Klassengrenzen nach Jahrringparametern			Bewertung
	Maximale Dichte	Jahrringbreite	Spätholzbreite	
Streuung	$\leq 0,025$	$\leq 0,20$	$\leq 0,28$	1
	0,026 - 0,055	0,21 - 0,25	0,29 - 0,36	2
	$\geq 0,056$	$\geq 0,26$	$\geq 0,36$	3
Mittl. Sensitivität	$\leq 0,035$	$\leq 0,16$	$\leq 0,25$	1
	0,036 - 0,085	0,17 - 0,25	0,26 - 0,32	2
	$\geq 0,086$	$\geq 0,26$	$\geq 0,33$	3
Autokorrelation	$\leq 0,15$	$\leq 0,45$		3
	0,16 - 0,35	0,46 - 0,60		2
	$\geq 0,36$	$\geq 0,61$		1
Kreuzkorrelation	$\leq 0,25$	$\leq 0,25$		1
	0,26 - 0,40	0,26 - 0,40		2
	$\geq 0,41$	$\geq 0,41$		3
Gleichläufigkeiten	≤ 60	≤ 60		1
	61 - 70	61 - 70		2
	≥ 71	≥ 71		3

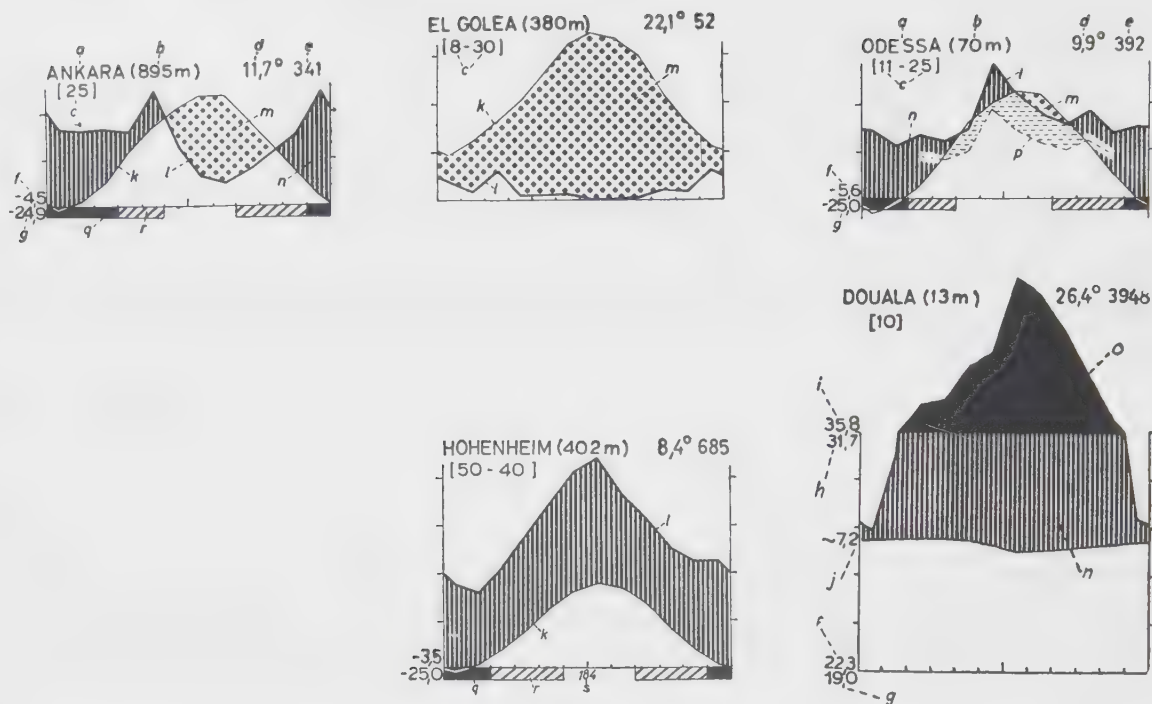
Tabelle 18: Bewertungsschlüssel für die Abbildungen 35, 36 und 37. Die Berechnungen der statistischen Kenngrößen beziehen sich auf die Referenzperiode 1901 - 1970 bzw. kürzer bei kürzeren Chronologien (vgl. Tabellen 12 bis 15, Anhang). Auf Grund der Häufigkeitsverteilungen der Werte erfolgt für jede statistische Kenngrösse eine Klasseneinteilung und eine Bewertung nach einer aufsteigenden 3-Punkteskala.

Bewertung	Monatliche Abweichung der Temperatur vom langjährigen Mittel (Grad Celsius)		Monatliche Abweichung der Niederschläge vom langjährigen Mittel (mm)	
	Sitten (1901 - 1977) Sitten Flugplatz (1978 - 1982) Nicosia (1900 - 1973)	Bern (1901 - 1980) Denver (1901 - 1982)	Sitten (1901 - 1977) Sitten Flugplatz (1978 - 1982) Nicosia (1900 - 1973) Bern (1901 - 1980)	Denver (1901 - 1982)
3	$\geq 1,6$	$\geq 1,9$	≥ 41	≥ 31
2	0,8 - 1,5	0,9 - 1,8	21 - 40	16 - 30
1	0,0 - 0,7	0,0 - 0,8	0 - 20	0 - 15
-1	-0,1 - -0,7	-0,1 - -0,8	-1 - -20	-1 - -15
-2	-0,8 - -1,5	-0,9 - -1,8	-21 - -40	-16 - -30
-3	$\leq -1,6$	$\leq -1,9$	≤ -41	≤ -31

Tabelle 19: Bewertungsschlüssel für die Tabelle 8. Die monatlichen Abweichungen der Temperaturen und der Niederschläge vom langjährigen Mittel werden nach einer 3-Punkteskala positiver und negativer Richtung klassiert und bewertet.

Bewertung	Methode und Jahrringparameter			
	'Skeleton plot'-Bal- kenhöhe (cm, max. = 2,0 cm). Alle Jahr- ringparameter.	Indexwerte		Intervalltrend Alle Jahrring- parameter
		Maximale Dichte (Indexeinheiten)	Spätholz- und Jahrring- breite (Indexeinheiten)	
1	1,5 - 2,0	$\leq -9,0$	$\leq 0,59$	0,0 - 15,9
2	0,9 - 1,4	-4,5 - -8,9	0,6 - 0,79	16,0 - 32,9
3	0,3 - 0,8	-0,1 - -4,4	0,8 - 0,99	33,0 - 49,9
4	0,1 - 0,2	0,0 - 4,4	1,0 - 1,19	50,0 - 65,9
5	keine Angabe	4,5 - 8,9	1,2 - 1,39	66,0 - 82,9
6	L ('large')	$\geq 9,0$	$\geq 1,40$	83,0 - 100,0

Tabelle 20: Bewertungsschlüssel für die Abbildung 53. Die Daten der 'skeleton plot'-Balkendiagramme sowie der Indexwerte und des Intervalltrends werden nach einer aufsteigenden Punkteskala bewertet.



Die Bezeichnungen und Zahlenwerte auf den Diagrammen bedeuten:

- a — Station
- b — Höhe über dem Meer
- c — Zahl der Beobachtungsjahre (eventuell erste Zahl für Temperatur und zweite Zahl für Niederschläge)
- d — mittlere Jahrestemperatur (1 Skalenteil = 10° C)
- e — mittlere jährliche Niederschlagsmenge (1 Skalenteil = 20 mm)
- f — mittleres tägliches Minimum des kältesten Monats
- g — absolutes Minimum (tiefste gemessene Temperatur)
- h — mittleres tägliches Maximum des wärmsten Monats
- i — absolutes Maximum (höchste gemessene Temperatur)
- j — mittlere tägliche Temperaturschwankung
- k — Kurve der mittleren Monatstemperaturen
- l — Kurve der mittleren monatlichen Niederschläge (im Verhältnis 10° C = 20 mm)
- m — Dürrezeit (punktiert)
- n — humide Jahreszeit (vertikal schraffiert)
- o — mittlere monatliche Niederschläge, die 100 mm übersteigen (Maßstab auf $\frac{1}{10}$ reduziert), schwarze Fläche
- p — Niederschlagskurve erniedrigt, im Verhältnis 10° C = 30 mm, darüber horizontal gestrichelte Fläche — Trockenzeit
- q — Monate mit mittlerem Tagesminimum unter 0° C (schwarz)
- r — Monate mit absolutem Minimum unter 0° C (schräg schraffiert)
- s — mittlere Andauer von Tagesmitteln über 0° C, halbfette Zahl; bzw. mittlere Dauer der frostfreien Periode (in Tagen), kursive Zahl.

Abbildung 64: Erläuterungen zu den Symbolen der verwendeten Klimadiagramme (aus WALTER und LIETH, 1960, 1964, 1967).

Curriculum vitae

1. Personalien

Kienast, Felix, von Zürich und Zollikon,
geboren am 28.1.1958 in Zürich.

2. Vorbildung

1973-1977 Mathematisch-Naturwissenschaftli-
ches Gymnasium Rämibühl in Zürich
1977 Maturität Typus C

3. Studien

1977-1982 Studium mit Hauptfach Geographie an
der philosophischen Fakultät II der
Universität Zürich
1982 Diplomprüfung in Geographie
1983 Diplomprüfung für das Höhere
Lehramt
seit 1982 Arbeit an der Dissertation an der
Eidgenössischen Anstalt für das
forstliche Versuchswesen, Birmens-
dorf.
Leitung der Dissertation: Prof. Dr.
G. Furrer, PD Dr. F.H. Schweingru-
ber

4. Gegenwärtige Stellung

seit 1983 Lehrbeauftragter an der Kantons-
schule Wiedikon, Zürich

5. Vorlesungen und Uebungen

Geographie
O.Bär, A.Bögli, H.Boesch, K.Brassel,
E.Brugger, E.Bugmann, A.Dürst, H.Elsasser,
P.Fitze, G.Furrer, G.Gensler, K.J.Graf,
T.Gutermann, H.Haefner, Ch.Hanser,
H.Inhelder, K.Ippen, K.H.Kaiser, H.Kishimoto,
A.Leemann, J.E.Müller, F.Müller, D.Nüesch,
M.Schüepp, F.H.Schweingruber, D.Steiner,
H.J.Tanner

Geologie
H.M.Bolli, U.P.Büchi, E.DalVesco, R.Hantke,
K.J.Hsu, H.Jäckli, U.Kappeler, W.Lowrie,
A.G.Milnes, J.G.Ramsay, R.H.Steiger, R.Trümpy

Anthropologie
J.Biegert, D.Glaser, S.Kubik, W.Scheffrahn

Petrographie
G.Bayer, M.Grünenfelder, W.Oberholzer,
W.Petter, A.B.Thompson, V.E.Trommsdorff

Mathematik
E.Batschelet, M.Gutknecht, A.Steiner

Botanik
F.Klötzli, E.Landolt

Pädagogik und Didaktik
H.Keller, H.U.Maag, O.Woodtli

ferner H.Balmer, H.Mohr, F.Richard, A.C.Torr,
M.Vetter

